



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

VINÍCIUS ALVES DE NOVAES PIRES

**USABILIDADE DE *RPA* PARA IDENTIFICAÇÃO DE TELHADOS COM A
FINALIDADE DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA.**

Recife

2021

VINÍCIUS ALVES DE NOVAES PIRES

**USABILIDADE DE RPA PARA IDENTIFICAÇÃO DE TELHADOS COM A
FINALIDADE DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Área de concentração: Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

Orientadora: Prof^a. Dra. Simone Sayuri Sato

Co-orientador: Prof. Júlio Cesar Azevedo Luz de Lima

Recife

2021

VINÍCIUS ALVES DE NOVAES PIRES

**USABILIDADE DE RPA PARA IDENTIFICAÇÃO DE TELHADOS COM A
FINALIDADE DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Área de concentração: Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

Aprovada em: 15/09/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Simone Sayuri Sato (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Júlio Cesar Azevedo da Luz (Co-orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Msc .Prof.. Carlos Fabrício Assunção da Silva (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Marília Dantas da Silva (Examinador Externo)

Universidade Federal de Pernambuco

Catálogo na fonte:
Bibliotecário Josias Machado, CRB-4 / 1690

P667u Pires, Vinícius Alves de Novaes.
Usabilidade de RPA para identificação de telhados com a finalidade de
captação de água da chuva / Vinícius Alves de Novaes Pires. – 2021.
63 f.: il., figs., tabs., abrev. e sigl.

Orientadora: Prof.^a Dra. Simone Sayuri Sato.
Coorientador: Prof. Júlio César Azevedo Luz de Lima.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 2021.
Inclui referências.

1. Engenharia cartográfica. 2. RPA. 3. Ortomosaico. 4. Água da chuva.
5. Classificação de imagens. 6. Fotointerpretação. I. Sato, Simone Sayuri
(orientadora). II. Lima, Júlio César Azevedo Luz de (coorientador). III.
Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-200

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado sabedoria e discernimento nas escolhas certas para minha vida acadêmica. Aos meus pais Regina e Olímpio, por sempre acreditarem no meu potencial além de todo amor, incentivo e apoio em todos os momentos. À Mariana, o meu amor, que nos momentos mais difíceis esteve sempre ao meu lado, que nos desesperos de entrega de atividades e que nas vésperas de provas estava sempre presente para me ajudar. Aos meus padrinhos, Suely e Lulinha, que me ajudaram sempre quando precisei. Além disso, homenageio minha avó Maria Luiza, que sempre quis ver o seu neto caçula formado. Ao Pedro Henrique, meu amigo desde a escola, com quem ingressei junto no curso de Engenharia Cartográfica. Muita saudade de vocês. Sei que de onde vocês estiverem torcerão por mim. Amo vocês pela eternidade.

Ademais, agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Simone Sato, que sempre me incentivou a gostar da fotogrametria e que caminha comigo academicamente há vários anos. Obrigado pelas dicas e pelas ideias de temas e de publicações na hora certa. Também quero agradecer aos professores Júlio César, por abrir minha mente e me mostrar um mundo de possibilidades sobre os recursos hídricos; e a professora Ana Lúcia, por me fazer amar o Sensoriamento Remoto e o Processamento Digital de Imagens, pois sem vocês a jornada teria sido mais difícil. Agradeço a Defesa Civil do Recife pelos materiais e o tempo cedido para o levantamento.

Obrigado a todos os meus colegas de curso, que dividiram comigo atividades, conhecimentos, frustrações e felicidades e, em especial, aos amigos que fiz durante o curso, Lucas Israel, Júlia Isabel e Bruno Barros, obrigado por serem tão pacientes comigo e me ensinarem quando eu não sabia. Vocês são demais. Por fim, agradeço a todos que não pude mencionar aqui, que de alguma forma contribuíram em minha formação acadêmica e profissional.

*Aprenda com os erros
Não se sinta um covarde
Na praia Jesus me carregou no colo
Eu vi um par de pegadas
Não entendi o óbvio
Que o fardo não é maior
Do que eu posso carregar
Se a vida é o jogo então
Vamo ganhar!
As pessoas não são más
Elas só estão perdidas
Ainda há tempo*

Criolo, Ainda há tempo.

RESUMO

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Analisa a demanda de água que cresce rapidamente em virtude do aumento populacional, do desenvolvimento econômico e da alta taxa de urbanização. Com isso, implica numa diminuição na infiltração do solo, que resulta em desastres naturais. Junto a isso, Recife, habitualmente, é palco de grandes eventos de precipitação, logo, isso gera problemas de deslizamento de barreiras. Pesquisadores vêm buscando formas de maximizar a eficiência na captação de água de chuva para que ela não seja encarada como algo inútil, mas, sim, um importante recurso de abastecimento. Para a definição da área de estudo, o trabalho foi elaborado juntamente com a Defesa Civil do Recife, que forneceu informações sobre comunidades onde possuem maiores riscos de deslizamento de barreiras. A comunidade escolhida foi a do Córrego da Telha, localizada no bairro do Passarinho. Com o auxílio de uma Aeronave Remotamente Tripulada (RPA), foi possível identificar a área total aproveitável de telhados residenciais, tipo de material de cobertura do telhado, da presença ou não de calhas e de caixas d'água. Produtos cartográficos que auxiliaram no dimensionado e nas posteriores tomadas de decisão, como exemplo: ortomosaico, imagens digitais classificadas, modelos digitais de superfície e terreno, nuvem de pontos e mapas temáticos. A metodologia utilizada foi de escolha prévia das classes de interesse para a realização da classificação pelo método de máxima verossimilhança, em que a partir da matriz de confusão, foi calculada a acurácia do mapeamento e verificado que o coeficiente Kappa em 93,20%, que é o considerado como excelente. foi possível identificar as áreas aproveitáveis dos telhados, no qual foi constatado que é possível reter 1.136.275,59 m³ de água da chuva. Evitando, assim, que essa água seja escoada superficialmente, se infiltre nas barreiras e sobrecarregue os sistemas de drenagem. Em contrapartida, esta quantidade de água seria suficiente para atender à demanda interna de uma casa, como exemplo: lavar roupa, lavar louça, limpar a casa e entre outros. Melhorando, dessa forma, o abastecimento de água que é um problema sério nas áreas de morros do Recife. É notável a presença do mesmo nos objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), de acordo com as ODS's 2, 3, 9, 11, 12, 13, 15 e 17.

Palavras-chave: RPA; ortomosaico; água da chuva; classificação de imagens; fotointerpretação.

ABSTRACT

The Final Course Paper of the Graduate Course in Cartographic Engineering and Surveying, at the Federal University of Pernambuco (UFPE), focuses on the analysis of the rapidly growing water demand due to population growth, economic development and the high rate of urbanization. With this growth, there is a decrease in soil infiltration, which results in natural disasters. Along with this, Recife is usually the stage of large precipitation events, therefore, this generates problems of sliding barriers and water accumulation points in punctual places. Researchers have been looking for ways to maximize the efficiency of rain water harvesting so that it is not seen as something useless, but rather an important supply resource. For the definition of the study area, the work was prepared together with the Civil Defense of Recife, which provided information on communities where they are at greater risk of sliding barriers. The chosen community was Córrego da Telha, located in the Passarinho neighborhood, on the banks of the BR-101 highway. With the help of a Remotely Piloted Aircraft (RPA), it was possible to identify the total usable area of residential roofs, type of roofing material, presence or absence of gutters and water tanks. Cartographic products were generated that aided in dimensioning and subsequent decision-making, such as: orthomosaic, classified digital images, digital surface model, digital terrain model, point cloud and thematic maps. The methodology used was the previous choice of the classes of interest to perform the classification by the maximum likelihood method, in which the accuracy of the mapping was calculated from the confusion matrix and verified that the Kappa coefficient was 93.20%, which is considered excellent. With the help of photo interpretation, it was possible to vectorize the usable areas of residential roofs, in which it was found that it is possible to retain 1,136,275.59 m³ of rainwater. Thus, preventing this water from being run off superficially, infiltrating barriers and overloading drainage systems and, consequently, putting several families at risk. On the other hand, this amount of water would be enough to meet the internal demand of a house, for example: washing clothes, washing dishes, cleaning the house, watering plants and others. In this way, improving the water supply, which is a serious problem in the hilly areas of Recife. Based on this study, its presence in the Sustainable Development Goals (SDG) of the United Nations (UN), according to SDGs 2, 3, 9, 11, 12, 13, 15 and 17 is remarkable.

Palavras-chave: RPA; orthomosaic; rain water; image classification; photointerpretation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplos de tipos de modelo de RPA.....	21
Figura 2 – Exemplo de ortomosaico gerado por RPA.....	23
Figura 3 – Comparativo entre MDS e MDT.....	24
Tabela 1 – Coeficientes <i>Runoff</i> para diferentes tipos de material.....	27
Figura 4 –Mapa de Localização do Córrego da Telha.....	29
Figura 5 – Fluxograma metodológico.....	30
Figura 6 – DJI Mavic 2 PRO.....	31
Tabela 2 – Especificações Técnicas do Mavic 2 PRO.....	31
Figura 7 – Tela principal do Dronedeploy.....	32
Figura 8 – Tela principal Pix4DMapper.....	33
Figura 9 – Tela principal SPRING.....	33
Figura 10 – Tela principal QGIS.....	34
Figura 11 – Padrões de plano de voo.....	35
Figura 12 – Plano de Voo Córrego da Telha.....	36
Figura 13 – Ponto de controle identificado através do Google Earth.....	37
Figura 14 – Fluxo de etapas adotado no processamento de imagem pela classificação por máxima verossimilhança.....	38
Figura 15 – Parâmetros de segmentação.....	39
Figura 16 – Classificação por máxima verossimilhança.....	40
Figura 17 – Vetorização das áreas de telhados.....	41
Figura 18 – Construção da tabela de atributos.....	41
Figura 19 – Tipos de coberturas residenciais.....	42
Figura 20 – Treinamento das classes através do SPRING.....	43
Figura 21 – Recorte do Ortomosaico para a fotointerpretação.....	44
Figura 22 – Identificação de calhas a partir do ortomosaico.....	44

Figura 23 – Identificação de Calhas residenciais pelo Google Street View.....	45
Figura 24 – Visualização das caixas d’água fotoidentificáveis.....	46
Figura 25 – Visualização das lonas plásticas.....	46
Figura 26 – Sobreposição das imagens.....	47
Tabela 3 – Parâmetros de processamento.....	48
Figura 26 – MDT e MDS gerados.....	48
Figura 27 – Mapa Temático pelo método de máxima verossimilhança.....	49
Figura 28 – Classificação das lonas plásticas.....	50
Figura 29 – Classificação de telhas cerâmicas.....	50
Figura 30 – Confusão na classificação Fibrocimento e asfalto.....	51
Tabela 4 – Matriz de confusão (Máxima Verossimilhança)	51
Tabela 5 – Parâmetros de acurácia extraídos das matrizes de confusão.....	52
Tabela 6 – Valores de acurácia do produtor e do usuário para cada classe.....	53
Gráfico 1 – Comparativo entre as classes da acurácia Produtor x Usuário.....	53
Gráfico 2 – Quantitativo de residências por tipo de telhado.....	55
Figura 31 – Mapa temático de tipos de material de telhado.....	55
Figura 32 – Mapa Temático de identificação de calhas.....	56
Figura 33 – Mapa Temático de identificação de caixa d’água.....	57
Figura 34 – Localização da estação pluviométrica alto da brasileira.....	58
Tabela 7 – Planilha de resultados APAC.....	58
Figura 35 – Cálculo da média dos telhados pela calculadora de campo QGIS.....	59
Tabela 8 – Potencial de reservação de água da chuva em L/Ano por material de telhado.....	59

LISTA DE SIGLAS

AAT	Triangulação Aérea
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
BBA	Bundle Block Adjustment
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DN	Digital Number
GCP	Ground Control Point
GIS	Geographic Information System
GLONASS	global (orbiting) navigation satellite system
GNSS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global NavigationSatellite System
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Motion Unit
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LIDAR	Light Detection and Ranging
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital do Terreno
NDBI	Normalized Density Building Index
RGB	Red Green Blue
RMR	Região Metropolitana do Recife
RPA	Remotely Piloted Aircraft
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	JUSTIFICATIVA.....	15
3.	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	17
3.1.	OBJETIVO GERAL.....	17
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4.	REFERENCIAL TEÓRICO	28
4.1.	FOTOGRAMETRIA E RPA.....	18
4.2.	TIPOS DE RPA E APLICAÇÕES NO MAPEAMENTO.....	20
4.3.	PRODUTOS E INSUMO CARTOGRÁFICOS DA FOTOGRAMETRIA E SENSORIAMENTO REMOTO.....	21
4.3.1.	Ortoimagens e ortomosaicos.....	22
4.3.2.	Modelo digital de superfície e modelo digital de terreno.....	22
4.3.3.	Segmentação de imagens.....	22
4.3.4.	Máxima Verossimilhança.....	23
4.4.	ÁREAS DE VULNERABILIDADE E A DEFESA CIVIL DO RECIFE.....	23
4.5.	INFLUÊNCIA DO TIPO DE MATERIAL NA QUANTIDADE DE ÁGUA RESERVADA.....	25
5.	METODOLOGIA	27
5.1.	ÁREA DE ESTUDO.....	27
5.2.	EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS.....	29
5.3.	FLUXO DE TRABALHO.....	32
5.3.1.	Plano de Voo.....	32
5.3.2.	Escolha dos pontos de controle.....	34
5.4.	CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS E FOTOINTERPRETAÇÃO.....	36
5.4.1.	Classificação de Imagens.....	36
5.4.2.	Segmentação.....	37
5.4.3.	Máxima Verossimilhança.....	38
5.4.4.	Vetorização de Feições.....	38
5.5.	FEIÇÕES DE LEVANTAMENTO.....	40
5.5.1.	Material do Telhado.....	40
5.5.2.	Calha.....	42
5.5.3.	Caixa D'água.....	43

5.5.4. Lona Plástica de Proteção.....	44
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
6.1. PROCESSAMENTO AEROFOTOGRAFÉTICO PIX4D.....	45
6.2. CLASSIFICAÇÃO POR VEROSSIMILHANÇA.....	46
6.3. ANÁLISE DA QUALIDADE DE CLASSIFICAÇÃO.....	49
6.3.1. Matriz de confusão, acurácia global e índice Kappa.....	49
6.3.2. Acurácia do Produtor x Usuário.....	50
6.3.3. Resultado da classificação digital de imagens.....	51
6.4.ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS.....	52
6.4.1. Tipos de materiais de telhado.....	52
6.4.2. Identificação de Calhas.....	54
6.4.3. Identificação de Caixas D'água.....	55
6.5. COMPARAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS E LEVANTAMENTO.....	55
7. CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Com a grande crescente do tema “sustentabilidade ambiental”, se faz necessário o uso de fontes de água e de energia mais limpas (Solar Energy International, 2013). Por sua vez, a demanda urbana de água mundial vem crescendo rapidamente em virtude do aumento populacional, do desenvolvimento econômico e da alta taxa de urbanização (Boretti, 2019). Por outro lado, a limitação dos recursos hídricos disponíveis faz aumentar a competição entre usos da água e reduz o acesso à água de boa qualidade, tornando o fornecimento aos centros urbanos um grande desafio para a gestão de recursos hídricos (SHARMA e VAIRAVAMOORTHY, 2009).

Com base nisso nessa demanda, o crescimento desordenado das cidades aumenta a impermeabilidade do solo, diminuiu a cobertura vegetal e reduz a recarga dos aquíferos, logo, a drenagem se torna mais deficiente e as ilhas de calor são formadas, potencializando o aumento da evapotranspiração, e serviços de infraestrutura, tais como sistemas de abastecimento de água, que se tornam mais caros, inadequados e ineficientes (PÔJO, 2020). Além disso, o ciclo hidrológico alterado, causa desequilíbrios ambientais, além da redução do processo de recarga dos aquíferos subterrâneos, provocando, dessa forma, alagamentos e enchentes em períodos de chuvas intensas e secas em períodos de estiagem (ALMEIDA, 2016).

No município de Recife, cidade em estudo, vem sofrendo com diversos desequilíbrios ambientais que, de acordo com Wanderley(2018) vem apresentando suscetibilidade aos eventos extremos de precipitação. Isso se deve pela falta de planejamento e de terreno com ocupação indevida na região metropolitana do Recife, juntamente com elevados índices de precipitação e de variações na maré alta, causam inúmeras inundações e deslizamentos de terra. (HOLANDA, 2019). Dessa forma, quando considerado toda a problemática e a complexidade de uma cidade como Recife, o aproveitamento de água de chuva apresenta muitos benefícios: pode reduzir a demanda de água externa de uma cidade, aliviar o estresse hídrico na área, reduzir cargas poluentes de fonte difusa, reduzir o volume de escoamento urbano tratável, como também pode prevenir inundações e ajudar a amenizarmudanças climáticas (EROKSUZ et al, 2010; VILLARREAL et al, 2005; ZHU et al., 2004).

Entende-se que a escassez de água, juntamente com as inundações vêm sendo recorrentes nos últimos anos e isso decorre pelo processo de urbanização nos grandes

centros urbanos, agravadas pela ineficiência do planejamento urbano local. Assim, a utilização da água da chuva é uma fonte de água doce que não se cobra pelo uso, e as alternativas de sua utilização para fins não potáveis são diversas e sustentáveis, além de possibilitar a atenuação de alagamentos durante picos de chuvas. Portanto, um estudo do aproveitamento da água de chuva em áreas que sofrem com precipitação elevada, abastecimento deficitário e nível socioeconômico deficitário, que impossibilitam a extração de águas subterrâneas devido ao elevado custo, é essencial (MAY, 2004).

Em Salgueiro (2021), foi abordado a necessidade de um estudo mais detalhado acerca do quantitativo do escoamento superficial, bem como a busca por 3 medidas mitigadoras dos impactos, principalmente em áreas vulneráveis sob os aspectos social, econômico e ambiental. Como alternativa de minimização desses impactos, tem-se o armazenamento de água da chuva em reservatórios, sendo esse associado ao volume escoado de telhados. Nisso, no estudo é apresentado modos de minimizar o escoamento superficial e, em consequência, a ocorrência de alagamentos e dos consequentes impactos em áreas de maior vulnerabilidade socioeconômica.

Diante da essencialidade de um estudo de aproveitamento de água da chuva em regiões de morros, esta pesquisa foi desenvolvida em parceria com a Defesa Civil da Prefeitura do Recife, sob a supervisão do doutorando Júlio César Azevedo, do departamento de Engenharia Civil, da UFPE, em que o objetivo geral é a execução de mapeamento dos morros, através do uso de drones, na tomada das fotografias de modo autônomo, incluindo a automatização da geração de ortomosaicos e da modelagem tridimensional do terreno, com a finalidade de avaliar o potencial de captação de água de chuva. Desta forma, espera-se contribuir para universalização do acesso à água de qualidade, da redução dos deslizamentos das encostas, da melhoria da mobilidade urbana e da qualidade de vida das pessoas, por meio da melhoria das condições de saneamento e de saúde, consonante com diversos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), notadamente os ODS's 2, 3, 9, 11, 12, 13, 15 e 17.

2 JUSTIFICATIVA

As mudanças climáticas vêm impactando significativamente o planeta e isso se reflete nas áreas de risco, a saber, os morros e, conseqüentemente, na qualidade de vida das populações locais e circunvizinhas. Desse modo, as inundações e os deslizamentos de terra nessas regiões impactam na mobilidade e na qualidade de vida dos residentes (compostas por escadarias), agravada pelas condições precárias de abastecimento de água. Assim, encontrar mecanismos para promover o abastecimento de água e, conseqüentemente, reduzir o fluxo de água pluvial que propicia deslizamentos de encostas, alagamentos em planícies e privação de deslocamento, pode promover a melhoria na qualidade da vida local e, conseqüentemente, na mobilidade.

Nesse sentido, o trabalho considera o mapeamento aplicado a esse projeto como uma base para diagnosticar e avaliar a viabilidade da solução ambiental contextualizada, levando em consideração que o manejo da água precipitada amortece parte da água (por meio de telhados, lajes, calçadas e outras superfícies de captação). Portanto, mapear os telhados e suas características por tipo, área, identificando a existência de calhas, caixas d'água, as coberturas impermeáveis como calçamento, entre outros, é um dos objetivos deste trabalho. Segundo Villarreal e Dixon (2005) em zonas urbanas, os primeiros elementos construtivos a entrar em contato com a água da chuva, são os telhados e, portanto, possui grande potencial para seu aproveitamento.

Contudo, informações e dados quantitativos e qualitativos dos telhados são primordiais nesta temática de captação de água de chuvas, pois os telhados são considerados como um dos elementos que mais contribuem para o fluxo de escoamento de águas pluviais, (RAHMAN, 2011). Como consequência, oferecem uma possibilidade significativa para a coleta de água da chuva) o que torna relevante ter à disposição critérios de seleção de coberturas. Dessa forma, os materiais dos telhados podem ser de vários tipos, como por exemplo: telhado de cerâmica, telhado de fibrocimento, telhado de madeira, telhado de policarbonato e entre outros.

Os telhados cerâmicos são o tipo de cobertura residencial mais utilizado (FARRENY et al., 2011), especialmente quando utilizado para fornecimento do escoamento de águas pluviais em ambiente urbano, ou seja, quanto mais detalhadas as informações dos telhados, diferenças estatísticas significativas podem ser encontradas, a exemplo, de telhados inclinados e planos rugosos que são elementos de condutividade de escoamento superficial da água. Os resultados têm um significado importante para os governos locais e

planejadores urbanos em projetos ou re-projeções de edifícios e de áreas ou cidades sob a perspectiva da gestão sustentável das águas pluviais. Assim sendo, os produtos cartográficos produzidos por levantamentos aerofotogramétricos, são de grande valia para estudos posteriores e importantes para a tomada de decisões. Por sua vez, a grande demanda de dados geoespaciais têm levado a obtenção de novos meios mais rápidos, mais econômicos e mais eficientes para esses projetos (DINIZ, 2016).

De acordo com (AMISSE, et al., 2019), são identificados parâmetros geométricos derivados de imagens óticas de drones que auxiliam na decisão na análise de potencial de coleta de água pluvial em telhados de edificações singulares. Para tanto, foi utilizado a combinação de tecnologias de baixo custo para aquisição e processamento de dados, entre elas: a utilização de drones e a aplicação de técnicas fotogramétricas que possibilitaram mapear o tamanho dos telhados, bem como adquirir informações 3D para calcular, por exemplo, o volume de água da chuva interceptada. Com base nisso, outras informações podem ser viabilizadas para dimensionar a captação da água da chuva, uma delas, é a modelagem da geometria do telhado, citando em Brenner (2005) e Wang et al (2018).

Segundo Carneiro (2014) os softwares de processamento fotogramétrico desenvolvidos para imagens de VANT tem um alto grau de automatização, maior que na fotogrametria convencional, pois utiliza softwares vindos de visão computacional capazes de processar uma grande quantidade de imagens. Ademais, são ainda mais rápidos e mais fáceis de usar, para a geração de produtos tipo *raster* e com processo menos trabalhoso nas etapas de processamento, é comum que apareçam algumas bordas de telhados descontínuas, em que são facilmente corrigidas manualmente. No entanto, algumas áreas podem não ser muito bem texturizadas ou podem conter grandes discontinuidades em profundidade, como por exemplo, perto das bordas dos telhados de edifícios ou estruturas de árvores delgadas (STRECHA, 2011).

Além da informação geométrica, também é de grande valia a informação do valor do nível de cinza do objeto mapeado, onde são possíveis fazer estudos prévios para áreas de interesse. Daí surge a necessidade do uso do processamento digital de imagens, que é a execução de operações matemáticas dos dados, visando as suas transformações em imagens de melhores qualidades espectrais e espaciais que sejam mais apropriadas para uma determinada aplicação (MENESES, 2012), ou seja, não cabe somente ao computador definir qual será a técnica a ser empregada, mas também ao usuário.

3 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho vão se basear em duas partes: objetivo geral e objetivo específico.

3.1 Objetivo Geral

Investigar as potencialidades do uso de mapeamento utilizando RPA, aplicada à captação de água da chuva.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar o mapeamento com RPA para extração de informações necessárias para os estudos de captação de água de chuvas;
- Testar técnicas de classificação de imagens e caracterizar padrões para a classificação dos telhados através de RPA para extração de informações de telhados;
- Gerar o mapeamento dos tipos de telhados, identificação de calhas e caixas d'água utilizando técnicas de fotointerpretação e produzir mapas temáticos que auxiliem projetos de captação d'água de telhados;
- Estimar a quantidade de água retida quando captada pelos telhados para estudos de abastecimento de água.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial mostra teoricamente de onde vem cada objeto que estamos estudando, onde será mostrado a seguir.

4.1 Fotogrametria e RPA (Aeronave Remotamente Tripulada)

De acordo com Andrade (1998) a fotogrametria é uma ciência que envolve tecnologia para obter informações confiáveis a partir de registro, de interpretação e de medidas de imagens. Em contrapartida, para Jensen (2003), os avanços tecnológicos e a globalização, a busca pela aceleração de processos, a rapidez de resultados, alterou o ciclo evolutivo da fotogrametria, em que eram exigidos computadores de grande porte, logo, tem-se microcomputadores fazendo o trabalho de restituição semiautomática e automática. Assim, a tomada de fotografias aéreas usando sistemas de câmeras métricas de grande porte acopladas em aeronaves bimotores, altamente estáveis, é aplicada de maneira estritamente. A indústria de drones vem avançando cada vez mais, novos modelos de câmeras não-métricas acopladas à sensores que integram essas tecnologias estão cada vez mais inseridos na automação dos processos aerofotogramétricos, trazendo mais rapidez, precisão e economia no resultado final.

O termo na navegação aérea e voos realizados com aeronaves remotamente tripuladas, vem da sigla RPA (Remotely Piloted Aircraft) para definir que o piloto não está a bordo da aeronave, mas é controlada à distância por meio de uma interface qualquer, seja ela: computador, smartphone, tablet, controle remoto, etc. Segundo o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), existe outra subcategoria chamada de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), a chamada “Aeronave Autônoma” que, uma vez programada, não permite intervenção externa durante a realização do voo, porém, no Brasil a utilização desta categoria encontra-se proibida. De acordo com Antunes(2020), esse tipo de veículo apresenta essencialmente dois métodos de pilotagem:

- i) o controle remoto manual em tempo real, baseado na emissão de um sinal entre o veículo aéreo e um comando na posse do agente utilizador;
- ii) o controle remoto programado de sistemas integrados mais complexos, normalmente utilizado para voos com trajetórias e coordenadas específicas.

Os RPA podem ser classificados de diversas formas de acordo com sua configuração aerodinâmica, segundo Angelov (2012) eles podem ter: asas fixas, asas rotativa, dirigíveis e asas batedoras, como é mostrado de acordo com a figura 1 abaixo.

Figura 1 - Exemplos de tipos de modelo de RPA.



(01) - Asa Fixa



(02) - Asa Rotativa



(03) - Dirigível



(04) - Asa Batidora

Fonte: Adaptado, (01) PNGWing, (02) AeroExpo, (03) Revista Galileu e (04) Ornithopter.

4.2 Tipos de RPA e Aplicações no Mapeamento

As aeronaves remotamente tripuladas estão descritas como uma ferramenta de aquisição de dados de sensoriamento remoto, uma vez que permitem manobras flexíveis, captura de imagens em alta resolução, voo sob nuvens, lançamento e pouso fáceis e aquisição rápida de dados a baixo custo (Crommelinck et al., 2016). Como desvantagens, incluem: limitações de carga útil, regulamentações incertas ou restritivas do espaço aéreo, curta duração de voo induzida por bateria, pequena cobertura para cada imagem, aumentando o número de imagens que implicam em processamento demorado de grandes volumes de dados coletados e eventualmente distorções geométricas que necessitam ser tratadas (Toth e Józków, 2016).

Em contrapartida, a tecnologia autônoma, facilita o voo autonomamente, pois, o operador só precisa inserir a posição inicial, logo, é realizado o voo e a aeronave retorna ao ponto de partida. Desse modo, a operação remotamente pilotada é realizada com auxílio de aplicativos de voo automatizado, como o *Pix4DCapture* e o *Dronedeploy* que são fornecidos gratuitamente. Assim, a coleta de dados com o RPA em baixa altitude, devido às restrições de tamanho e de peso do espaço aéreo, o qual limita o tamanho da área de mapeamento. Contudo, permite obter coordenadas tridimensionais de áreas de declive e com ajuda de sistemas de posicionamento GNSS e IMU (Inertial Motion Unit), pode-se obter imagens georreferenciadas, porém, para obter melhores resultados de acurácia posicional, são normalmente utilizados pontos de apoio terrestre.

No tocante ao RPA de asa rotativa, do estudo em questão, é aquele embarcado com o sensor RGB, com câmera digital não-métrica e de pequeno formato, em que as informações obtidas por esses sensores representam as cores reais dos objetos, ou seja, o que o olho humano é capaz de ver. Por isso, a câmera de pequeno formato, registra, no momento da exposição da fotografia, três versões da cena utilizando filtragem interna, onde o resultado é gerado a partir das luzes refletidas da superfície pelo: vermelho, verde e azul (Red Green Blue - RGB), isto é, as três imagens individuais em preto e branco são coloridas a partir da teoria aditiva das cores para produzir a imagem colorida, (JANSEN, 2011).

4.3 Produtos e Insumo Cartográficos da Fotogrametria e Sensoriamento Remoto

Os produtos nos dão a informação necessária a tomada de decisão e a seguir serão mostrados alguns produtos.

4.3.1 Ortoimagens e ortomosaicos

A partir dos produtos cartográficos fotogramétricos é possível representar, através de ortimagens e ortomosaicos, a forma e as dimensões reais dos objetos imageados, porém, para a geração dos produtos em questão, é necessário que haja a ortorretificação. A ortorretificação digital é o processo realizado por algoritmos computacionais que reposicionam cada pixel da imagem de acordo com a projeção ortogonal de cada um deles, gerando a ortomagem digital a partir dos modelos geométricos. As coordenadas do espaço-objeto (X, Y, Z), que fazem parte do modelo digital, são transformadas em coordenadas do espaço-imagem (X, Y) a partir de equações de colinearidade (JUNIOR, et al 2018).

Com a evolução da tecnologia vários passos na produção fotogramétrica foram dinamizados, como por exemplo: medição dos pontos homólogos, geração de modelo tridimensional, restituição fotogramétrica e entre outros. Contudo, um dos principais avanços foi a geração mais dinamizada do ortomosaico, que é junção de várias ortimagens através de pontos homólogos, onde é formado um produto único que pode ser utilizado para realizar medições. A seguir na figura 2, uma exemplificação de um ortomosaico.

Figura 2 - Exemplo de ortomosaico gerado por RPA.

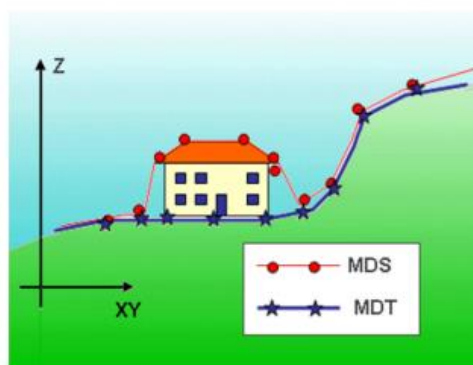


Fonte: Habitíssimo, 2021.

4.3.2 Modelo digital de superfície e modelo digital de terreno

Para Li et al (2005), o modelo digital do terreno (MDT), é um conjunto ordenado de pontos amostrais que representam a distribuição espacial de vários tipos de informação sobre o terreno. No entanto, o modelo digital de superfície (MDS), é utilizado para modelos que consideram as elevações do terreno e de qualquer objeto acima dele, como edificações e cobertura vegetal. É importante frisar que a principal diferença de um MDT para um MDS, é que no MDS todas as informações são mapeadas sem filtro e o MDT é gerado a partir da subtração dos objetos que estão acima do relevo do terreno. Na figura 3 a seguir, é possível entender o comparativo de como é a modelagem de um MDT e um MDS.

Figura 3—Comparativo entre MDS e MDT.



Fonte: DronEng, 2016.

4.3.3 Segmentação de imagens

Baseado em semelhanças de um ou mais atributos, o processo de segmentação procura agrupar em regiões pixels existentes numa imagem (PAL; PAL, 1993) de modo que os métodos de segmentação, baseados em objeto, vão além dos atributos espectrais e incluem informações, como por exemplo: forma, tamanho e contexto (JENSEN, 2005). O processo de segmentação é de fundamental importância para o início da classificação de uma imagem, uma vez que permite visualizar se estão sendo agrupados ou não, com um ou mais objetos semelhantes dentro de um mesmo polígono, o que influenciará diretamente os resultados a serem obtidos posteriormente.

Para a segmentação, é necessário que sejam inseridos alguns parâmetros como: limiar de similaridade e tamanho mínimo do polígono, que servem para saber como se comportarão os segmentos. Portanto, para uma segmentação ser considerada boa, ela deve gerar polígonos que representem da melhor maneira a forma e a geometria dos objetos existentes na superfície da área de interesse (RIBEIRO, 2010). Assim, esse processo, inevitavelmente, acaba levando a procedimentos de tentativa e de erro até que se consiga uma configuração apropriada dos segmentos gerados, logo, essa tarefa se torna mais complexa na medida em que mais heterogênea é a área de estudo (MENESES, 2012).

4.3.4 Máxima Verossimilhança

O método de classificação de imagens por “Máxima Verossimilhança - MaxVer” (maximum likelihood) considera a ponderação das distâncias entre as médias dos DN das classes, utilizando parâmetros estatísticos que dizem qual a probabilidade de um pixel pertencer ou não à uma determinada classe, considerando, também, a localização do pixel, segundo a distribuição espectral da classe (SOBRINHA, 2016). O uso desse classificador exige que as áreas de amostragem das classes de treinamento tenham uma grande quantidade de pixels, da ordem de centenas. Por ser um classificador com base na probabilidade é recomendável que se tenha números de pixels por classe de amostragem mais ou menos iguais, e que sejam tomadas mais do que uma área de amostragem por classe (MENESES, 2012).

4.4 Áreas de vulnerabilidade e a Defesa Civil do Recife

A vulnerabilidade no contexto de análise de risco de desastres em áreas é o grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos dentro da área afetada pelo deslizamento, logo, é expressa numa escala de zero (sem perda) até 1,0 (perda total). Para propriedades, a perda será o valor do dano relativo ao valor da propriedade que, para pessoas, será a probabilidade de uma vida em particular (elemento em risco) ser perdida, dado que a pessoa seja afetada pelo deslizamento (HENRIQUE, 2014). De acordo com Salgueiro (2021), foi estabelecido as áreas de maior vulnerabilidade no município de Recife em relação à impermeabilização da superfície, área de risco de desmoronamento, parâmetros socioeconômicos e níveis pluviométricos, ou seja, os elementos parametrizados

considerados foram: quantidade de áreas construídas, pelo índice de Construção por Diferença Normalizada (NDBI) calculado por meio de processamento de imagens de satélite, ocorrência de morros íngremes, por meio de análise de sombreamento de imagens de satélite e curvas de nível obtidas por meio do MDE oriundas da base de dados topodata; parâmetros socioeconômicos e níveis pluviométricos.

As áreas de morro, são vulneráveis devido à movimentação de água sob a encosta que está diretamente ligada com os possíveis deslizamentos e dos processos erosivos que estão por vir, assim, sabendo que quanto maior for a altura, declividade e o comprimento de uma encosta, maior será tal energia (PFALTZGRAFF, 2007). Segundo Assis (2001), a ocupação desordenada das encostas é o principal motivo para o grande número de desabamentos e desmoronamentos que ocorreram na época das chuvas em morros da cidade do Recife, pelo fato de que a cada ano as chuvas causam dezenas de deslizamentos, alguns fatais, evidenciando a necessidade de mais conhecimento aprofundado das correlações entre a precipitação e processos de instabilidade de encostas, bem como para melhorar as previsões dos índices pluviométricos nas áreas de risco.

De acordo com Bandeira e Coutinho (2015), no estudo envolvendo alguns municípios da Região Metropolitana de Recife, deslizamentos de encostas ocupadas estão intimamente relacionados à ocorrência de chuvas concentradas em 72 horas ou menos, e associado à precipitação cumulativa de longo prazo. Na pesquisa realizada, os estudos revelaram sobre os valores cumulativos de precipitação com as ocorrências de deslizamentos e, em alguns casos, seguiu a tendência de agravamentos não necessariamente causados pelo alto índice de precipitação acumulada e cita-se a ação antrópica. Em relação às ações da defesa civil na Região Metropolitana do Recife (RMR) e nas demais cidades brasileiras, as equipes agem com base no acompanhamento das previsões do tempo e nas inspeções locais.

Neste caso, os parâmetros pluviométricos para ações de defesa civil, contribui para o sistema de alerta do governo local ao analisar as frequências dos movimentos de massa e inundações em várias áreas do Brasil, pois alguns pesquisadores apresentaram acúmulos de chuva crítica com base em que aumentam o número de ocorrências destes processos. Autores como Gonçalves (2003) e Macedo et al. (2004), afirmam que deslizamentos com acúmulo de chuva abaixo desse valor podem estar relacionados às ações antrópicas ou às chuvas intensas em um período de 24 horas de modo que os valores informados chegam a valores de 60mm quando ocorridos em 24h.

4.5 Influência do tipo de material na quantidade de água reservada

Muitos autores tratam a captação de água como uma estratégia de planejamento urbano, já que as superfícies dos telhados fazem parte de uma área considerável da área total urbana. (FLETCHER et al., 2008; ROON, 2007; ZHUU et al, 2004). Segundo a Norma Brasileira NBR 15527 (ABNT, 2007) a área de captação é a área, em metros quadrados, da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada, projetada na horizontal. De tal maneira, é intuitivo que os sistemas de aproveitamento de águas pluviais sejam através dos telhados, pois essa captação pode ser realizada em coberturas residenciais com telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento, lajes de concreto, policarbonato, fibra de vidro e entre outros (RIBEIRO, 2020).

Desse modo, cada cobertura residencial possui um tipo de material relacionado a ela e cada material apresenta um diferente tipo de coeficiente de escoamento pelo fato do material do qual a cobertura é confeccionada pode provocar maior ou menor retenção da água precipitada (GWENZI et al., 2015) no qual é chamado de coeficiente de *Runoff*. Na tabela abaixo é possível analisar alguns dos diferentes tipos de coeficientes *Runoff*:

Tabela 1 - Coeficientes *Runoff* para diferentes tipos de material.

Material da cobertura	Coeficiente de runoff	Fonte
Cerâmico	0,75 - 0,95	Pruski et al., (2004)
Cimento	0,81	Liaw and Tsai (2004)
Metálico	0,95	Lancaster (2006)
Concreto asfáltico	0,90	Lancaster (2006)

Fonte: Adaptado, RIBEIRO (2020).

Com isso, foi desenvolvida uma maneira de mensurar o potencial de captação dessa água pelos telhados, de acordo com a equação 1 abaixo.

$$\text{Potencial} = P * A * C_{runoff}(1)$$

Fonte: Villareal, 2005.

No qual o potencial de captação (em Litros / ano) de um telhado pode ser estimado com base nas precipitações locais (P, em mm / ano), a área de captação, que seria o telhado (A,

em m^2) e o coeficiente de escoamento *Runoff* (*Crunoff*, não dimensional) (Adaptado, Villareal, 2005).

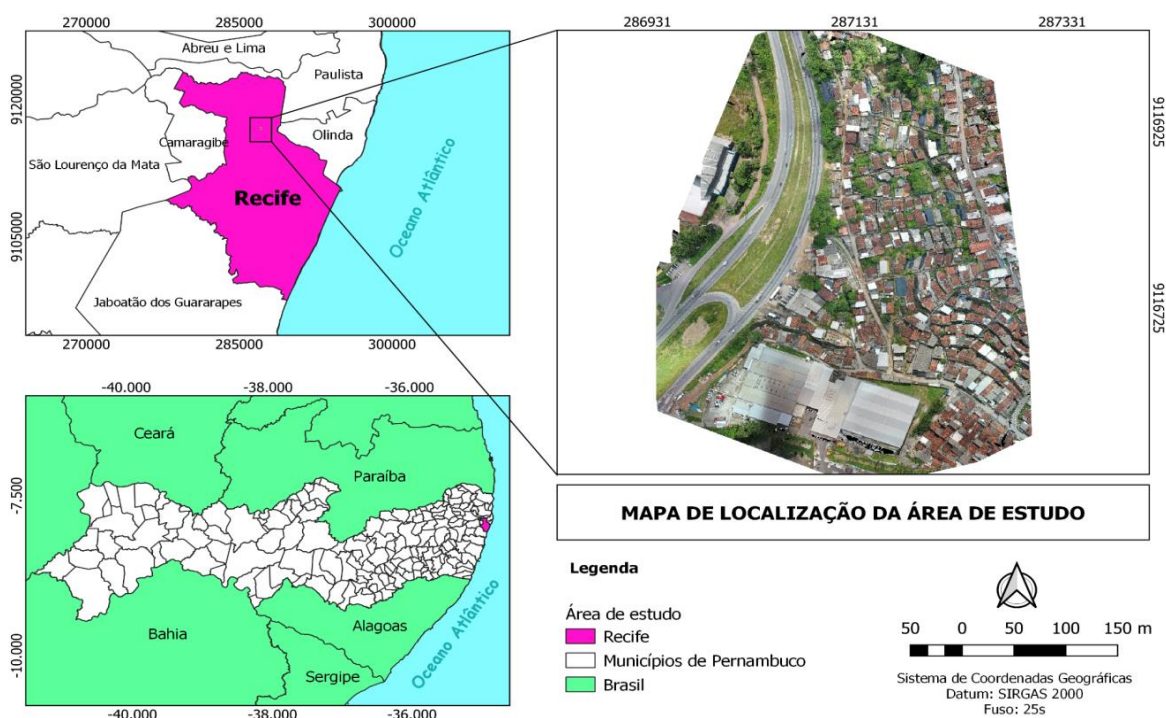
5 METODOLOGIA

A área de estudo, conhecida como comunidade Córrego da Telha, está localizada no município

5.1 Área de Estudo

A área de estudo, conhecida como comunidade Córrego da Telha, está localizada no município de Recife, capital do estado de Pernambuco, mais precisamente no bairro do Passarinho. A área é definida como local de risco de deslizamento de barreira, referente ao Monitoramento de Áreas de Risco pela Secretaria Executiva de Defesa Civil de Pernambuco em parceria com a Defesa Civil, a área foi selecionada e delimitada pelos mesmos. Com uma área total de 2,93 hectares, ela se caracteriza como área de risco em morros, sujeitos a deslizamentos e enxurradas, localizada às margens da Rodovia BR-101, km 60, conforme ilustrado na figura 4.

Figura 4 - Mapa de Localização do Córrego da Telha.

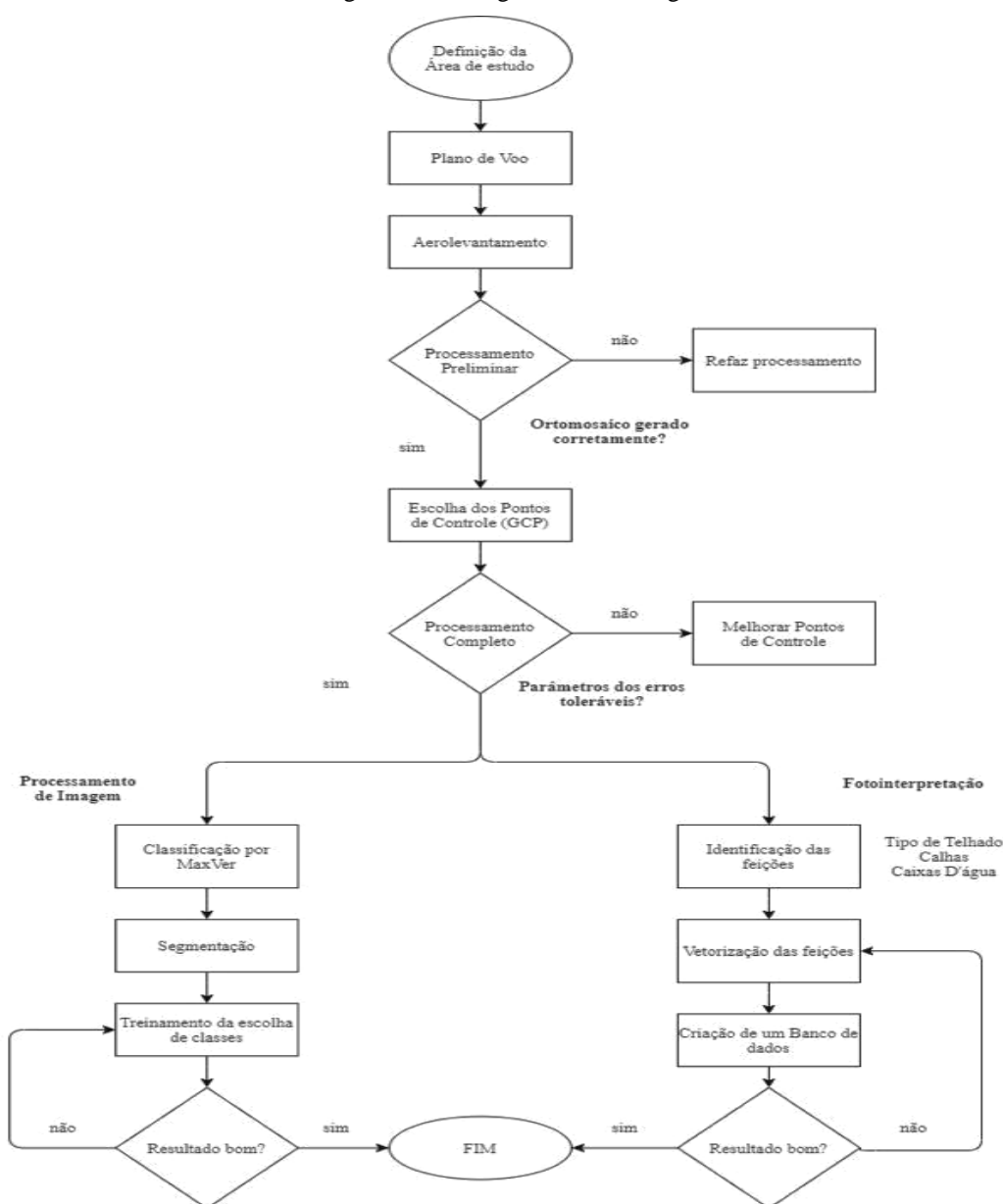


Fonte: Autor, 2021.

A característica da área é de relevo acidentado, sendo que o Córrego da Telha ocupa um espaço com outras dezenas de comunidades que se interligam formando um denso conglomerado populacional.

Com base nisso, o trabalho foi desenvolvido conforme o fluxograma metodológico apresentado na Figura 6, sendo iniciado com a definição da área de estudo, plano de voo, execução do aerolevanteamento, processamento de dados preliminar, seleção de pontos de apoio por meio das ortofotos disponíveis e ortomosaicos gerados no processamento preliminar dos dados do RPA, processamento das imagens para extração automática dos dados cartográficos, fotointerpretação e vetorização dos dados cartográficos e criação do banco de dados, análise dos resultados.

Figura 5 – Fluxograma metodológico.



Fonte: Autor, 2021.

5.2 Equipamentos e Softwares utilizados

Para a realização do aerolevanteamento, foi utilizado um drone Mavic 2 PRO, figura 6, cedido pela Defesa Civil do Recife, com autorização de voo na área. As especificações técnicas do equipamento, são apresentadas na tabela 2a seguir.

Figura 6 - DJI Mavic 2 PRO.



Fonte: DJI, 2021.

Tabela 2- Especificações Técnicas do Mavic 2 PRO.

CÂMERA	Sensor: 1" CMOS
	Dist. Focal: f/2.8-f/11
	Tam. da imagem: 5472×3648
	Vel. do obturador: 8-1/8000 s
DRONE	Peso: 907 g
	Tempo máx. de voo: 31 min
	Velocidade máx.: 72 km/h
	GNSS embarcado:
	GPS+GLONASS

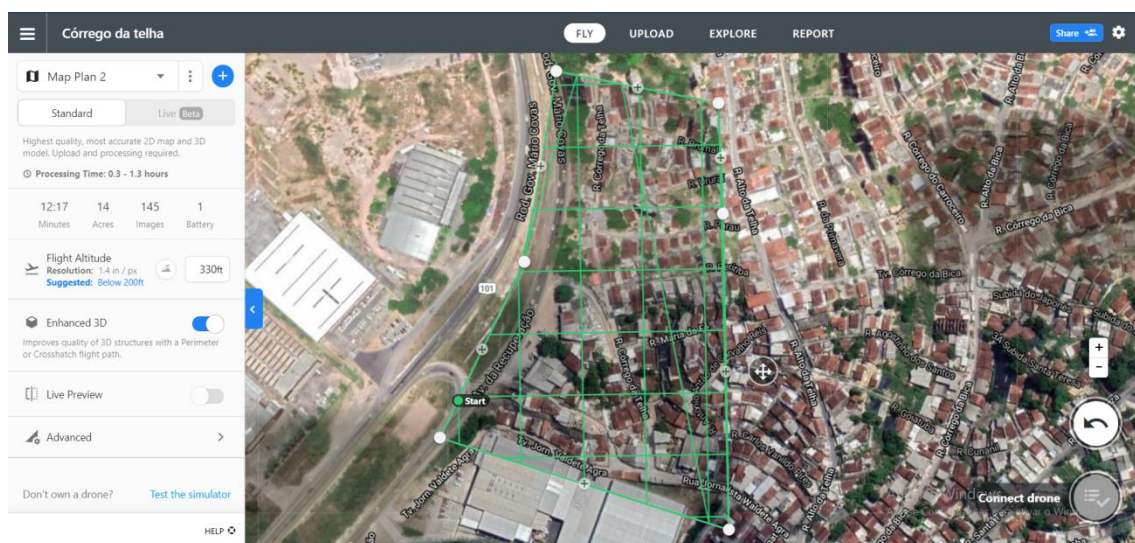
Fonte: DJI, 2021.

Assim, para o desenvolvimento do projeto em questão, foram utilizados diversos softwares entre os quais foram preferencialmente escolhidos softwares livres, para que a reprodução do trabalho seja acessível aos potenciais usuários, entre os softwares, estão:

- Dronedeploy, utilizado para o planejamento do plano de voo. Esse software não é totalmente gratuito, mas suas funcionalidades principais de planejamento são

gratuitas. Logo, ao escolher a área de delimitação de voo, é possível alterar a altura em que deseja realizar as tomadas aéreas e, assim, ele calcula os parâmetros referentes a média do consumo da bateria e tempo de voo conforme é alterada a sobreposição frontal e lateral entre as imagens. Ademais, fornece o quantitativo de imagens que serão capturadas como pode ser visualizado na figura 7, é exibido o plano de voo realizado utilizando o Dronedeploy.

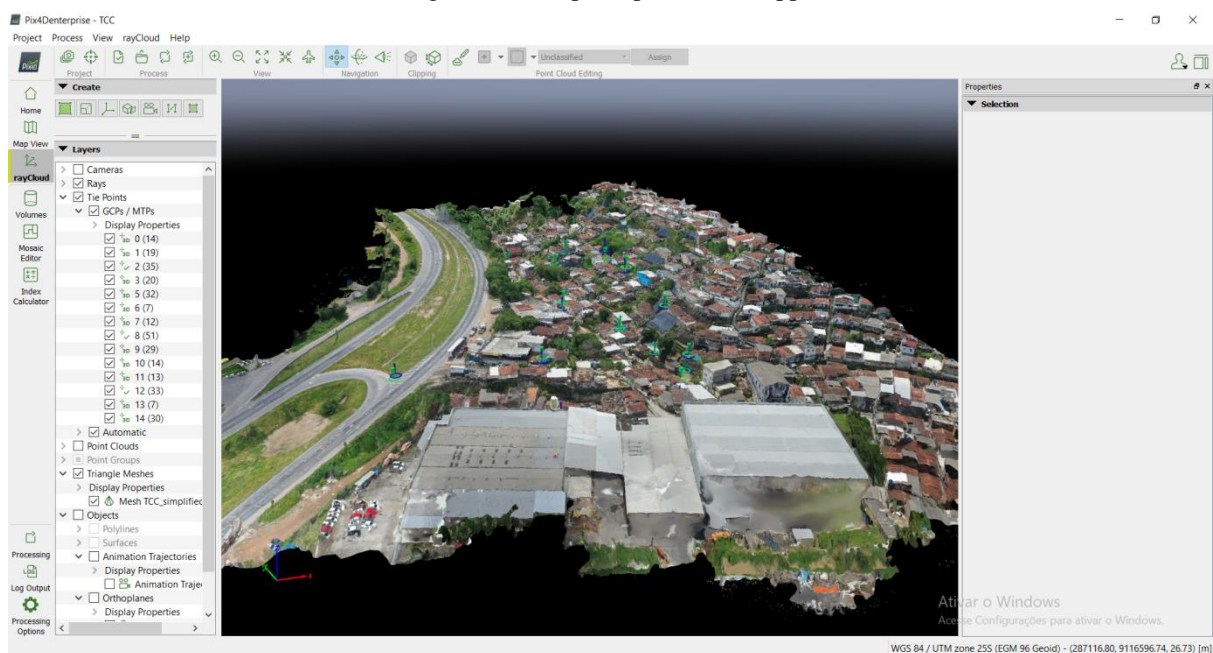
Figura 7 - Tela principal do Dronedeploy



Fonte: Autor, 2021.

- Pix4Dmapper é um software de processamento fotogramétrico, utilizado após o levantamento aerofotogramétrico, ou seja, Pix4Dmapper é um aplicativo da Pix4D, de software proprietário que calcula as posições e as orientações das imagens originais de forma automática através da Triangulação Aérea (AAT) e Ajustamento de feixes em Bloco (BundleBlockAdjustment, BBA). Com base em nuvem de pontos 3D obtidos durante a AAT e BBA, é gerado um MDS por ligação destes pontos de modo que o ortomosaico é criado a partir da projeção e combinação das imagens originais com o MDS (PIX4D, 2013a). Para o software em questão, são exigidas algumas especificações de hardware para a realização do processamento, o manual do Pix4D informa que as recomendações são as seguintes: o computador possuir disco rígido com SSD, placa de vídeo ao menos com 2Gb de memória, sistema operacional Windows a partir do 8 e no mínimo 15Gb livres no espaço do disco rígido.

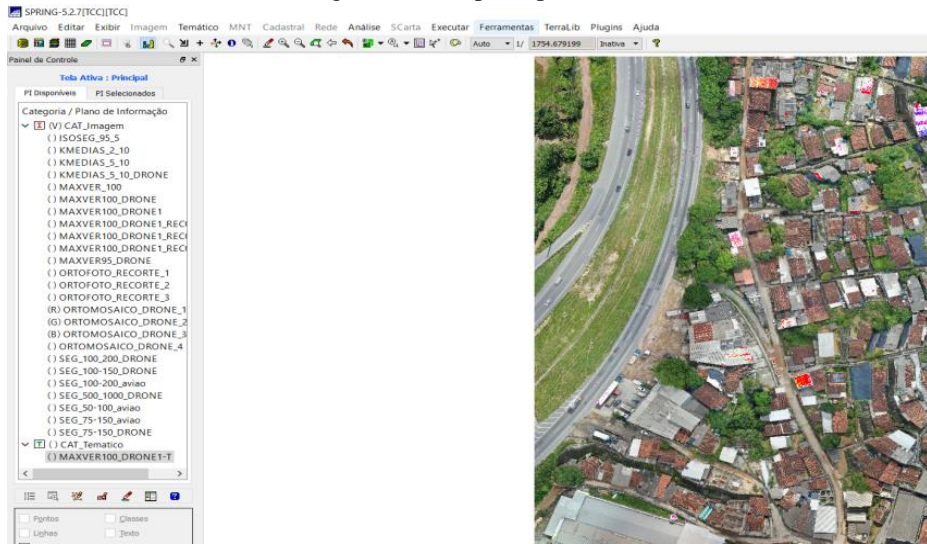
Figura 8 - Tela principal Pix4DMapper.



Fonte: Autor, 2021.

● SPRING é um Sistema de Informações Geográficas (SIG) com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e de consulta a bancos de dados espaciais (SPRING, 1996). Assim, ele foi utilizado após a geração do ortomosaico elaborado no Pix4DMapper, nele foi possível realizar a classificação, segmentação e treinamento das classes do ortomosaico para extração automática das informações cartográficas. O SPRING é um projeto desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), especialmente desenvolvido na divisão de processamento de imagens por ser um software livre. A seguir na figura 9, tem-se a interface do Software SPRING.

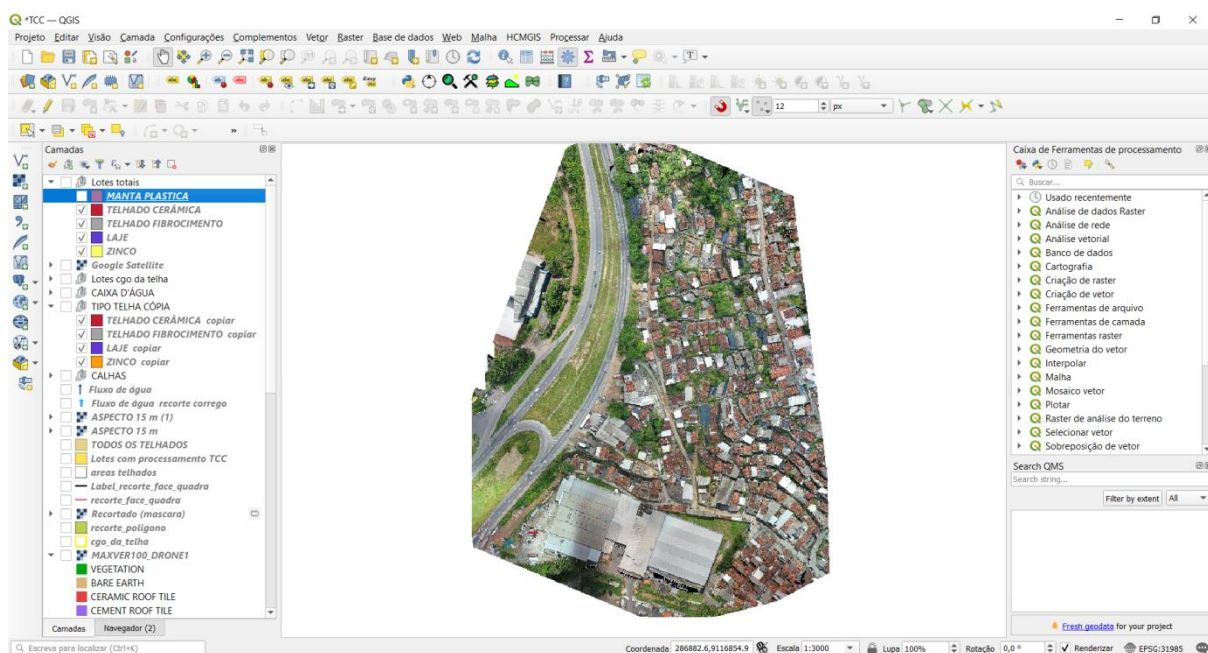
Figura 9 - Tela principal SPRING.



Fonte: Autor, 2021.

No tocante ao software utilizado para a extração de informações, criação de tabela de atributos, banco de dados e geração de mapas foi o QGIS, que é um aplicativo profissional GIS Livre e de Código Aberto, que é construído a partir de Software Livre e de Código Aberto (QGIS, 2020). A seguir, na figura 10, pode-se perceber a interface do Software.

Figura 10 - Tela principal QGIS.



Fonte: Autor, 2021.

5.3 FLUXO DE TRABALHO

É necessário que siga um fluxo contínuo para que possa se ter a metodologia em uso, a seguir será mostrado como pode ser usado o fluxo de trabalho.

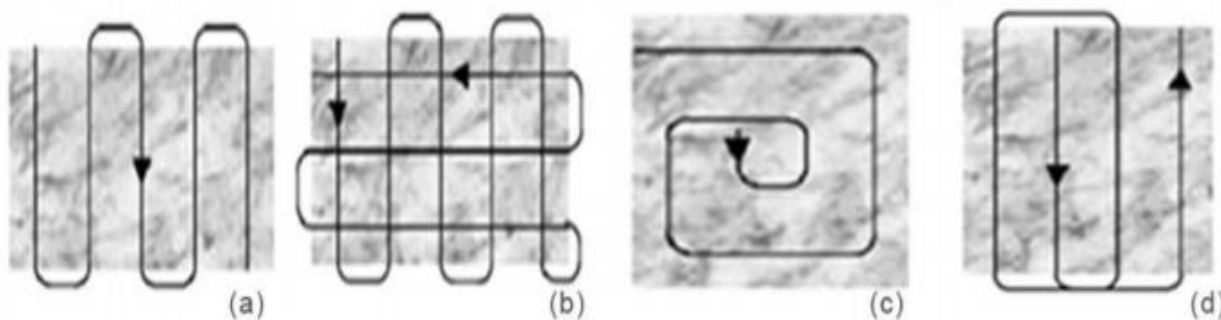
5.3.1 Plano de Voo

A metodologia do projeto se inicia com o planejamento de voo, no qual foi realizada a seleção, a definição e a delimitação da área pela Defesa Civil do Recife em que a área de estudo corresponde ao Córrego da Telha. Nela, foi feito um estudo preliminar para verificar onde será o ponto inicial de decolagem, que deve ser levado em consideração áreas isentas de obstruções de voo, evitando-se locais com: árvores de grande porte, fiação de energia elétrica e vias de passagem de pedestres e automóveis. Com a área de pouso e decolagem em mãos, é feito o plano de voo, onde é necessário que haja uma extrapolação da área de recobrimento feita pelo RPA, para que possa evitar distorções nas bordas ou falta de

recobrimento de imagens na área de interesse, o que proporciona uma boa geração geométrica do ortomosaico, evitando-se erros nas classificações e vetorizações.

Desse modo, o plano de voo levou em consideração os parâmetros de voo necessários para um mapeamento fotogramétrico, como: perímetro da área de mapeamento, sobreposições das imagens, altura de voo e características do voo e a orientação das linhas de voo. Nele, é conhecido o tempo de voo e conseqüentemente o número de baterias necessárias, que preliminarmente é planejado o quantitativo de pontos de apoio dependendo o tamanho, a geometria da área e a acessibilidade da área de mapeamento, que idealmente se planejou um melhor horário para execução do voo para evitar a penumbra. Alguns padrões de planos de voo podem ser gerados, como na figura 11, em que são apresentados quatro tipos dos principais padrões de linhas de voo, onde segundo Barbier (2004) são: (a) de uma passagem; (b) de duas passagens; (c) centralizada; (d) pela linha mediana.

Figura 11 - Padrões de plano de voo.



Fonte: Barbier, 2014. Adaptado.

Para o trabalho em questão, foi utilizado o padrão de duas passagens, conforme visto na figura 11 acima, com a intenção de obter a maior quantidade de sobreposição de imagens possível. Na figura 12, a seguir, é mostrado o plano de voo da pesquisa, que foi o plano de voo cruzado e com a captura de mais algumas imagens nas bordas do plano.

Figura 12 - Plano de Voo Córrego da Telha.



Fonte: Autor, 2021.

5.3.2 Escolha dos Pontos de Controle

Pontos de Controle de Solo, ou pontos de apoio, na Fotogrametria Tradicional, é o mais conhecido nos softwares Ground Control Points como (GCP), são caracterizados por terem suas coordenadas tridimensionais ou bidimensionais conhecidas. Então, suas coordenadas são medidas com métodos tradicionais de levantamento ou obtidas por outras fontes (LiDAR, mapas mais antigos da área, Web Map Service). Os GCPs são usados para georreferenciar um projeto e reduzir o ruído (PIX4D, MANUAL).

No trabalho em questão, o método escolhido de seleção de pontos de apoio levou em consideração fontes de mapas disponíveis cuja qualidade posicional tinha sido certificada no mapeamento contratado pela Prefeitura Municipal do Recife. Nesse sentido, o mapeamento do ano de 2014 foi realizado com sistemas LIDAR e câmera métrica, cuja a qualidade da acurácia posicional desse mapeamento está especificada em atender 50cm em planialtimetria e altimetria. Nesse caso, para levantar os valores dos pontos de controle foram utilizados os dados cedidos pela prefeitura de um mapeamento de 2014, realizado

com LIDAR e câmera métrica, cuja a qualidade da acurácia posicional desse mapeamento foi especificada em 50cm em planialtimetria. Foram, portanto, utilizados para extração de coordenadas de elevação, o Modelo Digital do Terreno (MDT) e o Modelo Digital de Superfície (MDS) e para as coordenadas planimétricas, as ortofotos da área correspondente.

Além disso, os pontos de controle precisam ser foto identificáveis, ou seja, necessariamente estarem localizados em ambas imagens, na ortofoto da prefeitura do Recife e no ortomosaico gerado neste trabalho. Como a área de estudo é um local com a população habitante de sócio-vulnerabilidade econômica, com padrão desordenado de construções, com menos infraestrutura, com as ruas não pavimentadas, torna laborioso o trabalho de encontrar locais de pontos ideais e foto identificáveis, como por exemplo: interseções de canteiros e de meios e meios-fios, bocas de lobo e poços de inspeções.

Nesse caso, a maioria dos pontos de controle escolhidos foram as extremidades dos telhados que não tiveram mudanças ao longo do tempo, embora, foram ainda encontrados alguns pontos que se encontram no solo, como: o canteiro da Rodovia, e extremidade de canaletas. Para auxiliar na obtenção dos pontos nas bases de dados (ortofotos, MDT, MDS), foi ainda utilizado como suporte de visualização e identificação o Google Street View, conforme a figura 13 em que é mostrada uma imagem de identificação da canaleta para localizar um ponto de controle.

Figura 13 - Ponto de controle identificado através do Google Earth.



Fonte: Google Street View, 2019.

Após a identificação e posicionamento de cada ponto nas ortofotos e nas ortoimagens são extraídas as coordenadas (E, N e Z), sendo a elevação dos pontos extraídas do MDT e do MDS, pelo material fornecido pela Prefeitura Municipal do Recife. Esses pontos foram utilizados como os pontos de controle de modo que todo o procedimento de extração de coordenadas foi realizado no ambiente QGIS, utilizando a função calculadora de campo: funções \$x que retorna a coordenada x da feição atual e \$y que retorna a coordenada y da feição. Para a extração de coordenadas de elevação por meio do MDT, foi utilizada a função raster_value que devolve o valor de altimetria do raster encontrado para o ponto desejado.

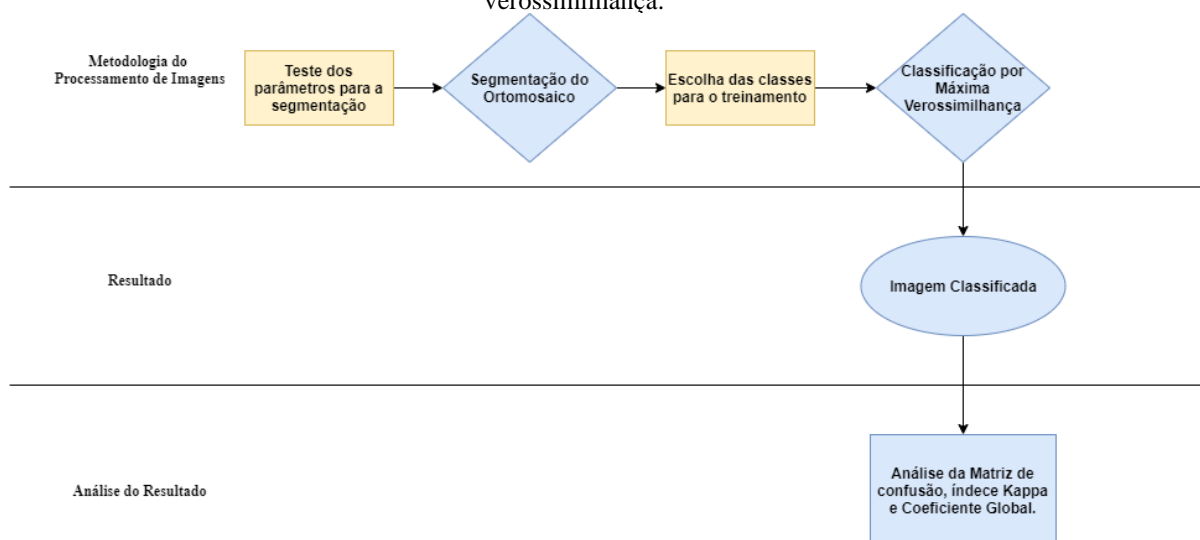
5.4 Classificação de imagens e Fotointerpretação

A classificação nos norteia como nas decisões para a fotointerpretação.

5.4.1 Classificação de Imagens

Inicialmente, foram realizados testes com classificador de identificação e de extração dos tipos de telhados e mais algumas outras classes de interesse. Como resultado, foi possível observar que a classificação ficou com algumas classes bem definidas, tais como: vegetação, telhados cerâmicos, solo exposto e lonas plásticas.

Figura 14 - Fluxo de etapas adotado no processamento de imagem pela classificação por máxima verossimilhança.



Fonte: Autor, 2021.

Um dos objetivos do sensoriamento remoto é extrair as informações contidas nas imagens e transcrever essas informações para modelos que possam ser lidos por vários

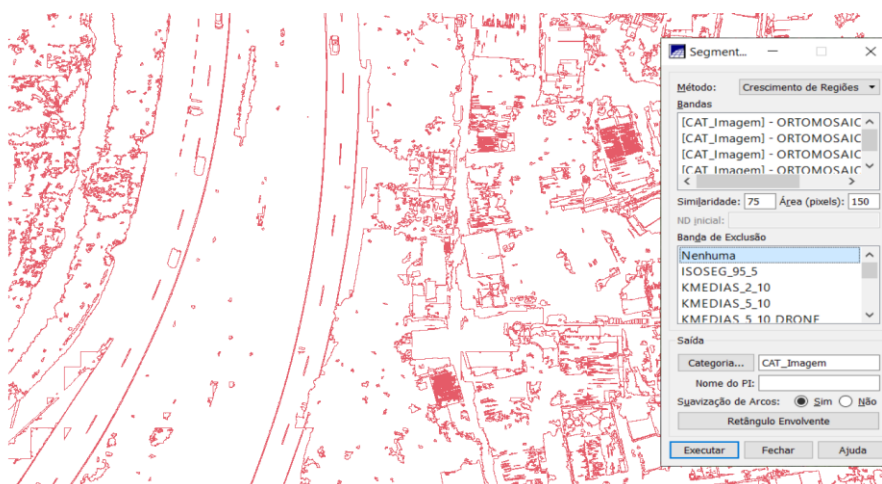
usuários, como por exemplo: mapas, gráficos e tabelas. Para a extração dessas informações é necessário que o produtor crie critérios para a escolha dessas classes, daí surge a fotointerpretação. Em resumo, a fotointerpretação é a identificação e a determinação de objetos por meio de fotografias, produzindo informações qualitativas (PANIZZA e FONSECA, 2011).

Como a fotointerpretação envolve a introdução humana nas suas escolhas, cada interpretação feita por diferentes ou a mesma pessoa pode ocorrer de aparecerem resultados diferentes. Por esses motivos, surgiram as técnicas de classificação de imagens, em que através de um padrão de treinamento feito previamente é gerado um resultado, que é eliminado a subjetividade da interpretação humana e reduz o esforço de trabalho do analista.

5.4.2 Segmentação

A segmentação é um processo realizado anteriormente à classificação por máxima verossimilhança, pois, a partir dela se pode definir quais serão as melhores generalidades e quais serão os melhores comportamentos para a geração do resultado final que, para a geração da imagem segmentada, é necessário primeiro inserir os valores de similaridade e de área. Não existe um valor predefinido para na inserção dos parâmetros similaridade e de área, portanto, esses valores deverão ser testados e verificados ao final se a segmentação ficou condizente com o valor esperado. Na figura 15 a seguir é possível visualizar a segmentação e os parâmetros escolhidos para a mesma.

Figura 15 - Parâmetros de segmentação.

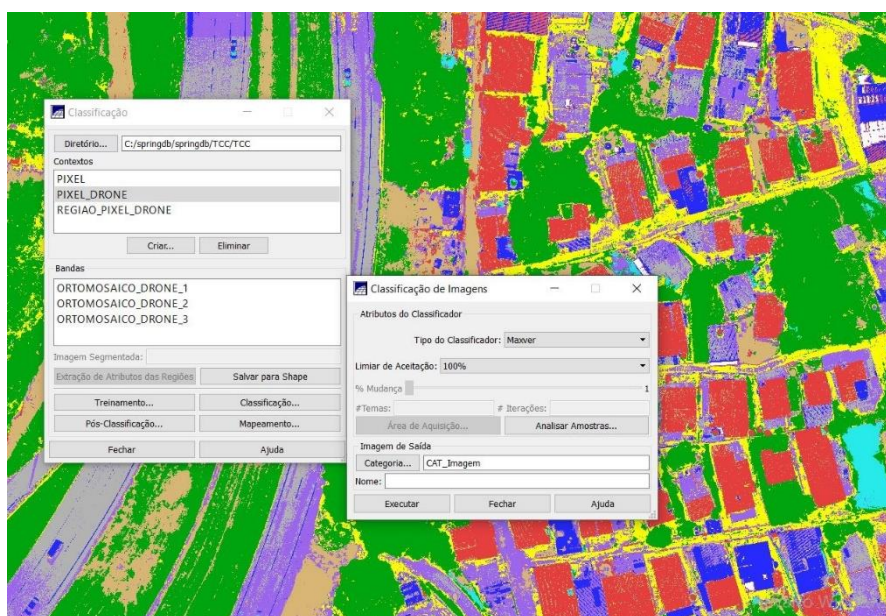


Fonte: Autor, 2021.

5.4.3 Máxima Verossimilhança

A máxima verossimilhança foi escolhida por ser mais eficiente porque as classes de treinamento são utilizadas para estimar a forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe no espaço de várias bandas, como também a localização do centro de cada classe (JENSEN, 2003). Como as áreas de interesse já estavam pré-definidas para serem dos tipos de material de telhado, então, ela foi a escolhida. Com a segmentação pronta, e as classes devidamente treinadas, é escolhido o limiar de aceitação para a geração da classificação por máxima verossimilhança. Na figura 16 abaixo é possível ver a escolha do limiar através do software SPRING.

Figura 16 – Classificação por máxima verossimilhança



Fonte: Autor, 2021.

5.4.4 Vetorização de Feições

A vetorização em tela consiste em fazer desenhos dos vetores (com *mouse*) sobre a imagem do mapa, que é mostrado em tela e, para o trabalho em questão, foram realizadas vetorizações utilizando a base o ortomosaico gerado pelo processamento das imagens de RPA. Como os alvos foram as áreas aproveitáveis dos telhados das residências da comunidade do Córrego da Telha, onde as camadas dos vetores foram criadas no software QGIS. Na figura 17, é possível verificar a vetorização.

Figura 17 - Vetorização das áreas de telhados.



Fonte: Autor, 2021.

Ademais, foi criado um polígono para cada residência, onde cada polígono foi atribuído a uma informação, como exemplo: tipo de material do telhado, existência de calhas e existência de caixas d'água. Cada atributo foi escolhido o parâmetro de tamanho e tipo de geometria específica para o mesmo. Na figura 18, é possível observar como foi realizada a construção.

Figura 18- Construção da tabela de atributos.

Novo Campo

Nome da camada: TELHADOS

Tipo de geometria: Polígono

Incluir dimensão Z Incluir valores M

EPSG:32725 - WGS 84 / UTM zone 25S

Nome: CAIXA D'ÁGUA

Tipo: abc Texto

Comprimento: 3 Precisão:

Adicionar campos à lista

Lista de Campos

Nome	Tipo	Comprimento	Precisão
MATERIAL	string	20	
CALHA	string	3	

Remover Campo

Aviso: camadas temporárias de rascunho não estão salvas e serão descartadas quando o QGIS for fechado.

OK Cancel Help

Fonte: Autor, 2021.

A tabela foi construída com o tipo de geometria *Polígono*, o sistema de referência utilizado foi o UTM / Zona 25 sul. Para os campos foram definidos preliminarmente três, tipo de material, denominado “MATERIAL”, onde o preenchimento do mesmo foi do tipo *string* com comprimento de 20 caracteres e para os campos “CALHA” e “CAIXA D’ÁGUA”, foi necessário apenas o comprimento de 3 caracteres, pois, a resposta é “sim” ou “não”.

5.5 FEIÇÕES LEVANTAMENTO

As feições nos dão as diferenças dos elementos existentes, o que é mostrado a seguir.

5.5.1 Material do Telhado

O telhado é o primeiro fator de contato com a água precipitada, pois ele foi aprimorado pelo homem para se livrar de intempéries da natureza com tempo. Montenegro (1984) relata o desenvolvimento de uma infinidade de novos materiais e de técnicas de construção que possibilitaram o surgimento de novas coberturas tais como as feitas de elementos cerâmicos e as de fibrocimento. Com isso, devemos distinguir quais são seus principais tipos de materiais de produção. Existem diversos tipos de coberturas residenciais, mas, as mais comumente utilizadas estão de acordo com a figura 19

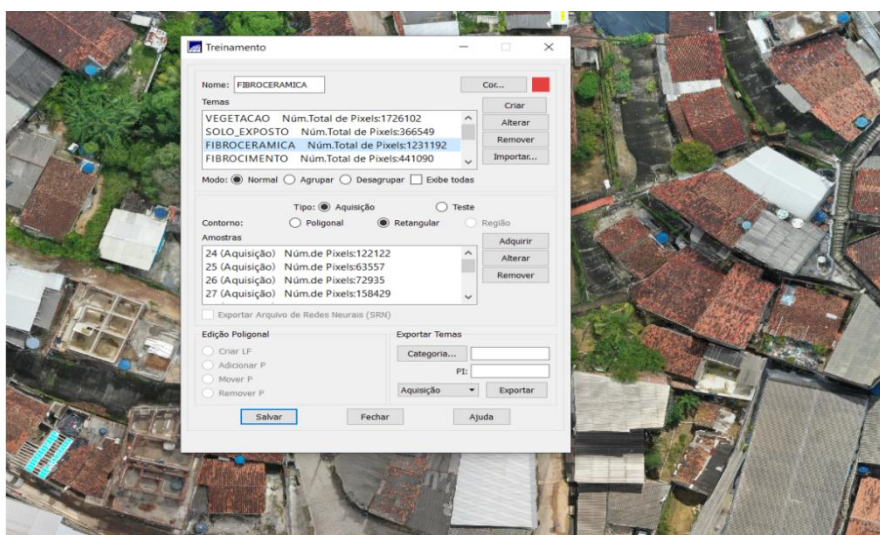
Figura 19 - Tipos de coberturas residenciais.



Fonte: Montenegro, 1984. Adaptado.

Na análise em questão, foram utilizados dois tipos de métodos para a identificação de material de telhado: processamento digital de imagens e por fotoidentificação. No processamento digital de imagens foi necessário realizar primeiro um treinamento de escolha de quantidade de classes, ou seja, dizer quais seriam as categorias a serem classificadas automaticamente pelo software. Assim como foram escolhidos pelo autor as seguintes classes: vegetação, solo exposto, telhado de cerâmica, telhado de fibrocimento, telhado de zinco, asfalto, lona plástica e barreiras de concreto. A seguir na figura 20 é possível ver como é realizado o treinamento de classes, pois na figura em questão a classe que está sendo treinada é a do telhado de cerâmica, em que é possível notar os contornos vermelhos sobre alguns telhados.

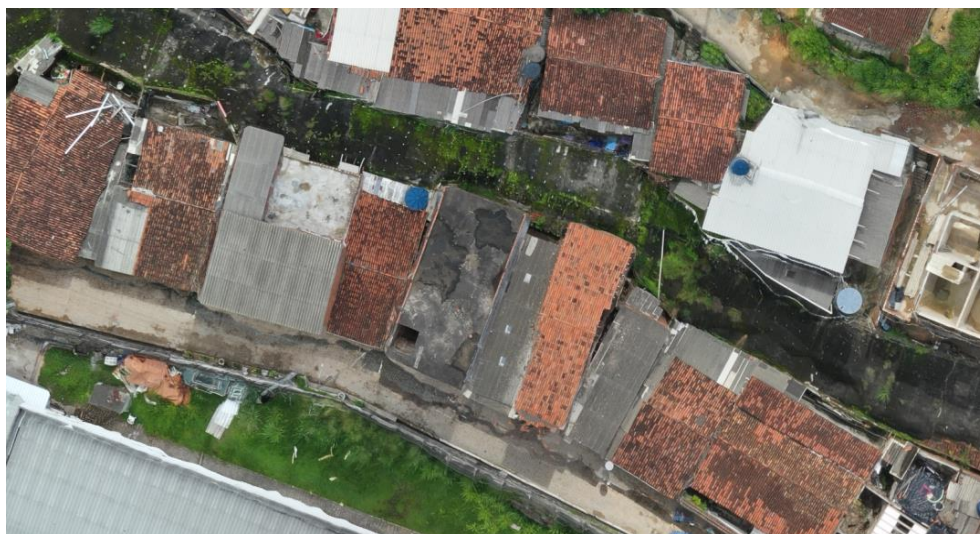
Figura 20 - Treinamento das classes através do SPRING.



Fonte: Autor, 2021.

Ademais, outra maneira de identificar o tipo da cobertura residencial foi a fotointerpretação, em que se pode, com maior exatidão, fazer essa identificação a partir do ortomosaico gerado pelas imagens do RPA, logo foi possível analisar casa por casa e identificar qual era o tipo de cobertura. A seguir na figura 21 é mostrado o recorte do ortomosaico.

Figura 21 - Recorte do Ortomosaico para a fotointerpretação.



Fonte: Autor, 2021.

5.5.2 Calha

Com a instalação do telhado, é comum que as pessoas também instalem um dispositivo que conduza as águas pluviais para um melhor destino, que são as calhas, a fim de que evite possíveis infiltrações nas paredes da casa. Na análise, é de extrema importância a identificação das mesmas para que seja possível dimensionar os possíveis custos de implementação de dispositivos de captação de água da chuva, pois, as calhas geralmente são produzidas com materiais metálicos e de custo um pouco mais elevado. Para tal identificação, foi utilizada a metodologia da aproximação do ortomosaico. A seguir é mostrado na Figura 22 a identificação da calha através da imagem de RPA.

Figura 22 - Identificação de calhas a partir do ortomosaico.



Fonte: Autor, 2021.

Em alguns dos casos, a calha é muito estreita, o que dificulta o trabalho de identificação pela imagem gerada pelo RPA, então, através da plataforma Google Street View, disponibilizada gratuitamente pelo Google Maps, é possível percorrer várias ruas pelo mundo todo e ter a certeza se a casa possui ou não calha. A seguir a Figura 23 mostra as mesmas casas exibidas anteriormente. É importante verificar a data da aquisição das imagens pelo Google Street View, caso seja uma imagem muito antiga.

Figura 23 - Identificação de Calhas residenciais pelo Google Street View.



Fonte: Google, 2019.

5.5.3 Caixa D'água

De acordo com (SOUZA et al, 2019) enfatiza-se que as caixas d'água são consideradas reservatórios de pequeno porte, que normalmente armazenam água potável para consumo humano e que tem a capacidade para armazenar até dois mil litros. Geralmente pré-fabricadas, são mais comumente usadas em residências unifamiliares ou edificações que abrigam atividades comerciais e institucionais de pequeno porte. Tem por função armazenar o produto de modo a garantir suprimento constante de água em todos os pontos de consumo, evitando as variações de suprimento da rede pública ou de outras formas alternativas de abastecimento.

Nesse sentido, as caixas d'água foram identificadas a partir do ortomosaico, onde foram quantificadas manualmente para posteriormente serem inseridas no banco de dados. Observa-se, então, que também há possibilidade de existirem algumas caixas d'água embaixo de algumas cobertas, ou seja, estas não puderam ser quantificadas. A seguir na figura 24 é possível visualizar essas caixas d'água visíveis.

Figura 24 - Visualização das caixas d'água fotoidentificáveis.



Fonte: Autor, 2021.

5.5.4 Lona Plástica de Proteção

Com uma grande área de deslizamento de terra, é necessário tomar algumas medidas, mesmo que essas medidas não sejam suficientes e definitivas, a lona plástica é um dos métodos mais utilizados em áreas de risco na Região Metropolitana do Recife. A identificação das lonas plásticas se deu por dois meios diferentes: pela identificação automática no processamento de imagens e pela fotointerpretação. A seguir na figura 25 é possível observar como ocorreu esta identificação.

Figura 25- Visualização das lonas plásticas.



Fonte: Autor, 2021.

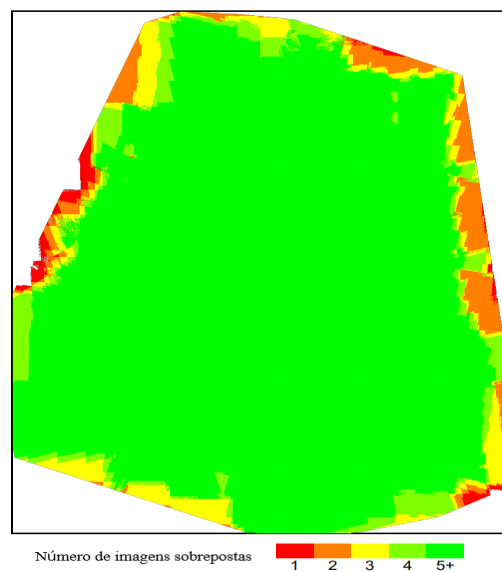
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão mostrados os resultados e o que podemos extrair do levantamento.

6.1 Processamento aerofotogramétrico PIX4D

No tocante aos resultados do software aerofotogramétrico, eles foram satisfatórios, pois o plano de voo foi bem feito e escolhido para que fosse executado numa área extrapolada para que as bordas não ficassem distorcidas, então em toda a área de interesse foram capturadas mais do que 5 imagens. Na figura 26 é possível observar essa sobreposição de imagens.

Figura 26 - Sobreposição das imagens.



Fonte: Autor, 2021.

O processamento foi realizado obedecendo as recomendações do manual. Na tabela 3 é possível observar os parâmetros obtidos do processamento.

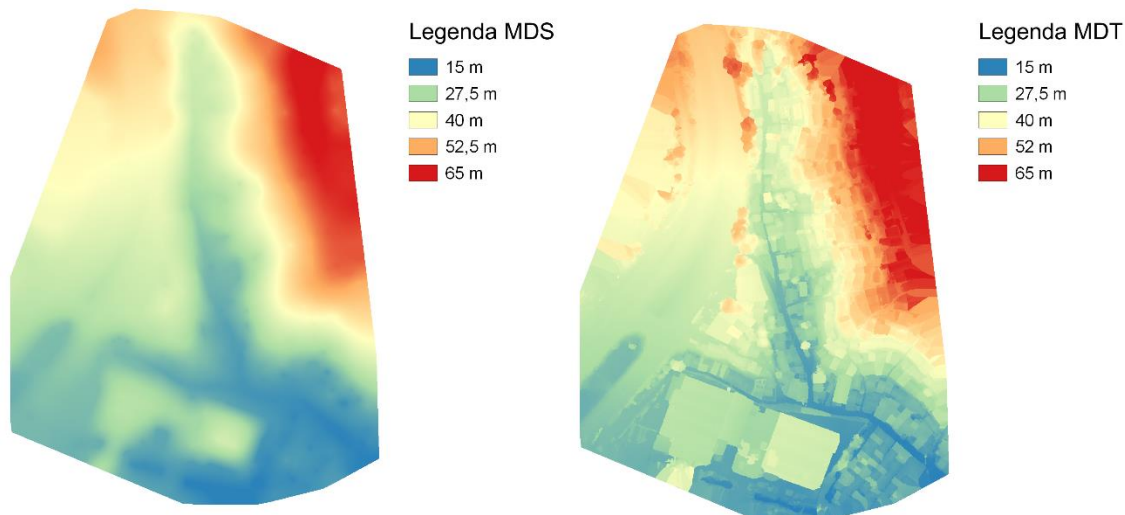
Tabela 3 - Parâmetros de processamento.

Parâmetros de Processamento	
Modelo da Câmera:	L1D-20c_10.3_5472x3078 (RGB)
GSD médio:	2,67 cm
Área de cobertura:	14,144 ha
Tempo de geração de malha texturizada:	46m:47s
Tempo de geração de nuvem de pontos:	01h:15m:04s
Tempo de geração de MDS:	01h:06m:08s
Tempo de geração de Ortomosaico:	46m:40s
Tempo de geração de MDT:	06m:31s

Fonte: Autor, 2021.

Os resultados do MDS e MDT foram gerados a partir do software Pix4DMapper e tiveram tempos de execução diferentes, pois, o MDT é gerado a partir da filtragem do MDS com a nuvem densa de pontos. Na figura 26 é possível observar o MDT e MDS gerados.

Figura 26 – MDT e MDS gerados.

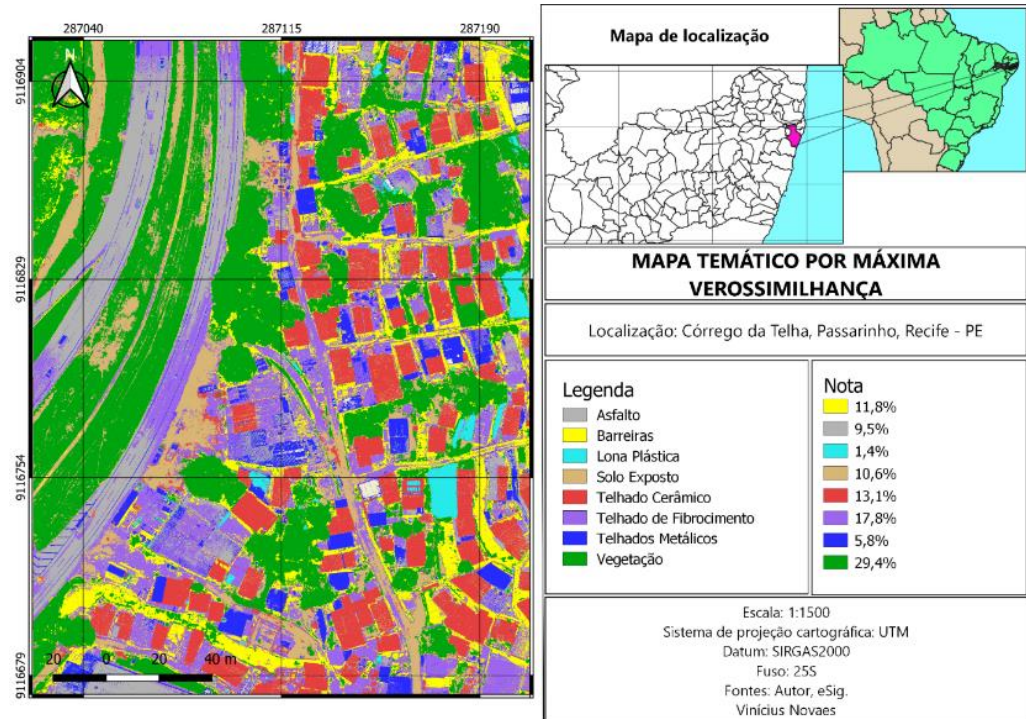


Fonte: Autor, 2021.

6.2 CLASSIFICAÇÃO POR MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

A figura 27 mostra o ortomosaico classificado e gerado o mapa temático do mesmo pelo método de máxima verossimilhança, obtido através do software SPRING.

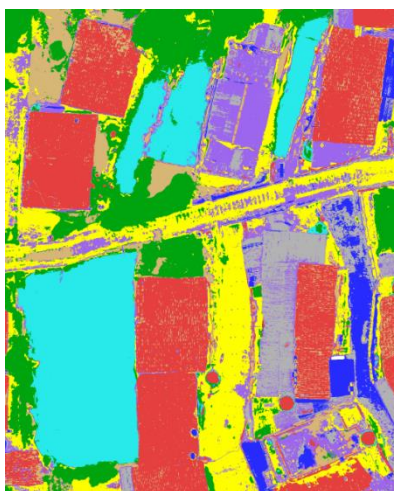
Figura 27 - Mapa Temático pelo método de máxima verossimilhança.



Fonte: Autor, 2021.

Além disso, é possível observar que a classificação ficou com a maioria das classes bem definidas, tais como: vegetação, telhados cerâmicos, solo exposto e lonas plásticas. A classe de lonas plásticas foi visualmente mais bem classificada, onde é possível observar que foi gerada praticamente da mesma forma da ortoimagem, devido à lona plástica ser da cor preta tendo uma baixa variação dos níveis de cinza, na figura 28 é possível observar a classificação da lona plástica.

Figura 28 - Classificação das lonas plásticas.



Fonte: Autor, 2021.

Por outro lado, a classificação dos telhados cerâmicos também foi muito bem desenvolvida devido à média dos níveis de cinza e por serem mais distantes do restante das outras classes, por isso uma boa classificação. Na figura 29 é possível observar a classificação dos telhados cerâmicos.

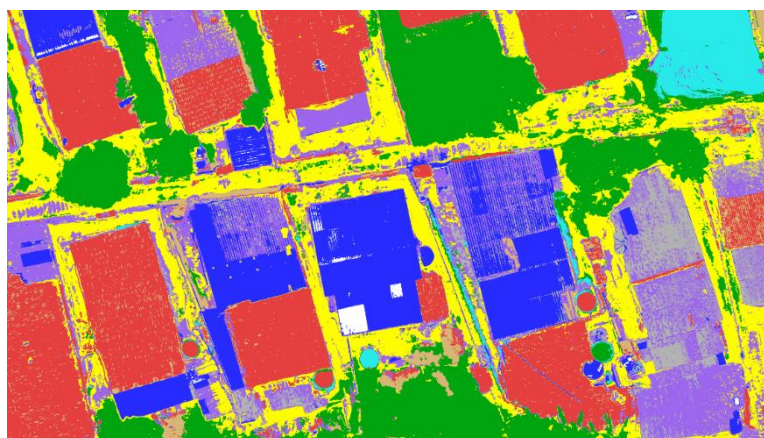
Figura 29 - Classificação de telhas cerâmicas.



Fonte: Autor, 2021.

Em relação a outros elementos, houveram algumas confusões na classificação, como por exemplo: barreiras e escadarias, asfalto e telhado de fibrocimento. Isso se deve ao fato da média dos valores dos níveis de cinza do asfalto e da telha de fibrocimento, assim como as barreiras e escadarias serem muito parecidas. As barreiras de contenção de concreto com o tempo vão criando uma camada escura e as escadarias também por isso têm esses valores parecidos, como pode ser visto na figura 30 a seguir, em que é possível observar as confusões geradas para essas classes em questão.

Figura 30 - Confusão na classificação Fibrocimento e asfalto.



Fonte: Autor, 2021.

6.3 ANÁLISE DA QUALIDADE DA CLASSIFICAÇÃO

A Acurácia do mapeamento foi analisada a partir das informações extraídas da matriz de confusão, em que foram investigadas as grandezas: acurácia Global, índice Kappa, acurácia do produtor e do usuário, avaliadas através dos erros de omissão e comissão.

6.3.1 Matriz de Confusão, Acurácia Global e índice Kappa

A partir do software SPRING, é possível gerar um relatório contendo os resultados da classificação, na tabela 4 é possível verificar o comportamento da geração da classificação, onde a diagonal principal apresenta as amostras corretas das classes a seguir.

Tabela 4- Matriz de confusão (Máxima Verossimilhança).

	VEGETAÇÃO	SOLO EXPOSTO	CERÂMICA	FIBROCIMENTO	ASFALTO	LONA PLÁSTICA	BARREIRA	ZINCO	SOMA
VEGETAÇÃO	1706772	962	0	23	0	0	18815	0	1726572
SOLO EXPOSTO	545	355438	10394	548	0	0	16	3	366944
CERÂMICA	1	77485	1149681	2846	33	23	452	484	1231005
FIBROCIMENTO	1	2693	1592	339206	58779	0	24221	14309	440801
ASFALTO	0	0	0	32582	387668	0	131	156	420537
LONA PLÁSTICA	622	76	28	567	203	373887	20	2	375405
BARREIRA	2856	163	34	8908	423	0	123796	261	136441
ZINCO	0	414	2	11333	3016	36	28	402188	417017
SOMA	1710797	437231	1161731	396013	450122	373946	167479	417403	5114722

Fonte: Autor, 2021.

De acordo com Mendes et al. (2015), a matriz de erro nos permite calcular parâmetros de exatidão geral da classificação, além de identificar os erros específicos que afetam cada uma dessas categorias, pois as colunas da matriz se referem à verdade das classes terrestres, já as linhas são as interpretações das imagens. Os valores em negrito da diagonal principal foram os valores corretamente classificados de modo que todos os valores que não estão na diagonal principal são os erros de omissão e de comissão. Observando a tabela acima é possível notar que os valores das classes que mais ficam fora da diagonal principal são as classes: fibrocimento, barreira e zinco.

Com os dados da matriz de confusão, informados pela tabela 4, foi possível, analisar os parâmetros de acurácia global e índice kappa de acordo com a tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Parâmetros de acurácia extraídos das matrizes de confusão.

Coefficientes de qualidade	
Coefficiente Global	94,60%
Coefficiente Kappa	93,20%

Fonte: Autor, 2021.

Na tabela 5 é visto que os coeficientes ficaram com boa acurácia, ultrapassando a marca de 90% para ambas as acurácias. Esses resultados evidenciam a necessidade de elaborar mais classes tendo em vista que são imagens de alta resolução. De acordo com Landis e Koch (1977), os resultados de acurácia mostraram bons valores de acerto por classe temática. O valor de acurácia Kappa = 93,20%, ou seja, o índice foi classificado como excelente, estando entre os valores $0,8 < K \leq 1$. Além disso, a variação de acurácia global se deu superior a 90% confirmando os valores obtidos com o índice Kappa.

6.3.2 Acurácia do Produtor x Usuário

A partir da Matriz de confusão foi possível o cálculo dos parâmetros acurácia do produtor e acurácia do usuário, como é mostrado na tabela 6 a seguir.

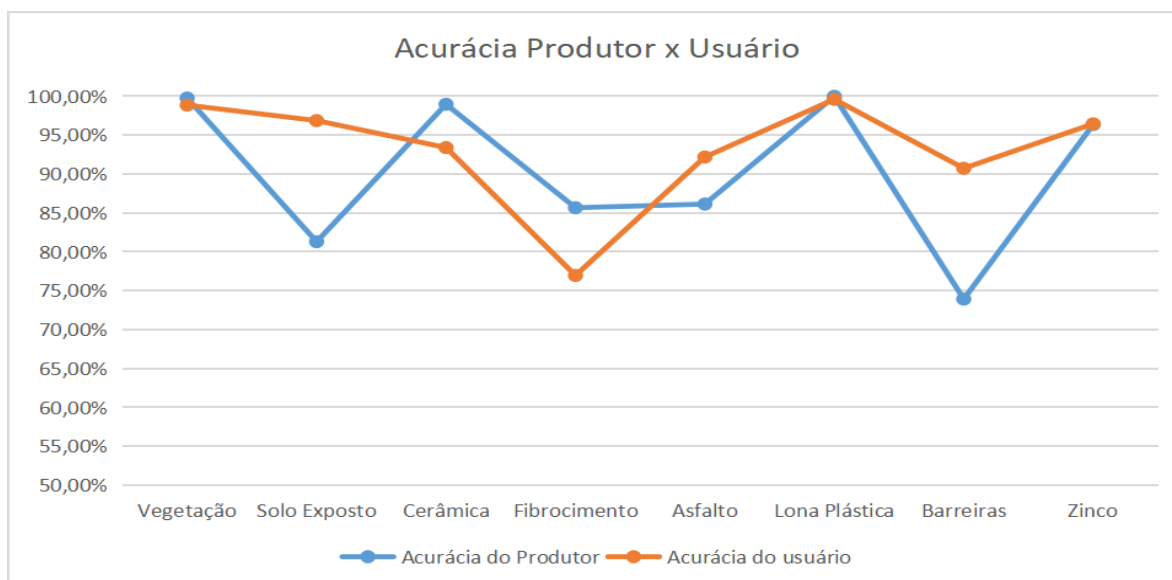
Tabela 6- Valores de acurácia do produtor e do usuário para cada classe.

CLASSE	ACURÁCIA DO PRODUTOR	ACURÁCIA DO USUÁRIO
Vegetação	99,76%	98,85%
Solo Exposto	81,29%	96,86%
Cerâmica	98,86%	93,39%
Fibrocimento	85,66%	76,95%
Asfalto	86,13%	92,18%
Lona Plástica	99,98%	99,60%
Barreiras	73,92%	90,73%
Zinco	96,35%	96,44%

Fonte: Autor, 2021.

Com os dados visualizados na tabela 6, foi possível criar um gráfico onde fica melhor a visualização desses dados, o Gráfico 1 abaixo mostra a comparação entre a acurácia do produtor e a acurácia do usuário para cada classe criada.

Gráfico 1 - Comparativo entre as classes da acurácia Produtor x Usuário.



Fonte: Autor, 2021.

6.3.3 Resultado da classificação digital de imagens

Todas as classes apresentaram uma boa classificação, mas algumas classes ficaram com os valores de acurácia do produtor e da acurácia do usuário mais parecidos, assim, é

possível ver no gráfico que para a vegetação, cerâmica, lona plástica e zinco, os valores das duas acurácias foram praticamente iguais, indicando que houve uma ótima classificação para essas classes. Como dito anteriormente, nas classes em que houve um maior distanciamento dos valores das acurácias foram as classes que mais foram confundidas com outras classes, como exemplo: solo exposto, fibrocimento e barreiras. Um dos principais motivos para essa diferença dos valores das classes para barreiras, pode ter sido a confusão da coloração dos níveis de cinza entre as barreiras e escadarias, já que estão muito próximas e também o sombreamento feito pelas residências nas escadarias.

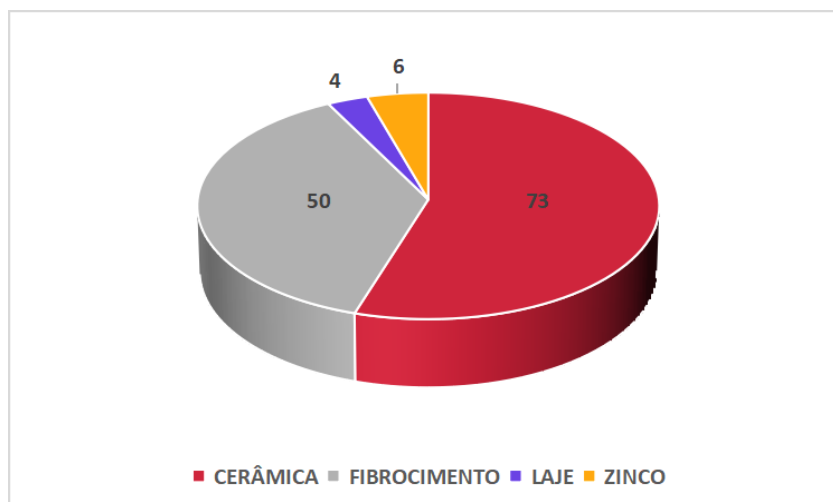
6.4 Elaboração dos mapas temáticos

A elaboração de um mapa temático tem em seus princípios, que é de fundamental importância, a comunicação com o público alvo, que na maioria das vezes não são pessoas com formação ou letramento para interpretar mapas. Portanto, é imprescindível que o produtor ao elaborar o mapa temático tenha a plena aptidão para escolher as melhores variáveis visuais a serem empregadas, pois, para o presente trabalho, foram escolhidas as variáveis visuais de cor e de símbolos.

6.4.1 Tipos de materiais de telhado

Os telhados foram divididos em 4 tipos de materiais: Telhado Cerâmico, Telhado de Fibrocimento, Laje e Zinco, que a partir da fotointerpretação foi possível identificar e quantificar quais são os materiais para cada cobertura residencial. Com a tabela de atributos em mãos, temos a quantidade de residências totais e a quantidade de cada tipo de material. A quantidade encontrada foi de 132 residências para o Córrego da Telha e o gráfico 2 a seguir mostra as quantidades para cada tipo de material.

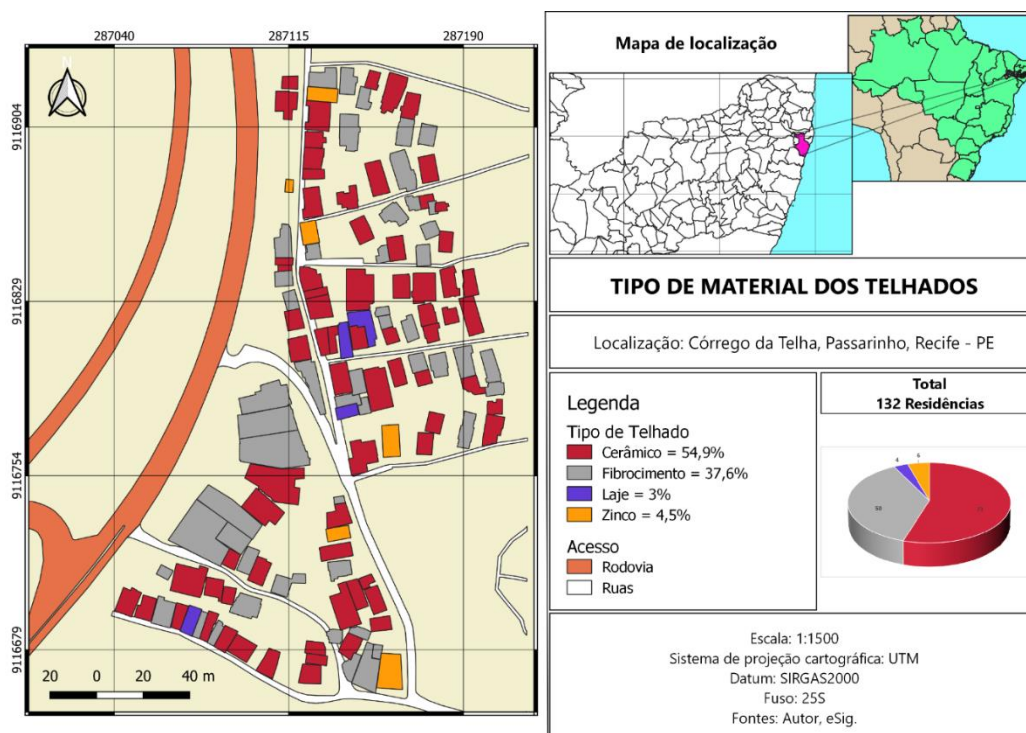
Gráfico 2– Quantitativo de residências por tipo de telhado.



Fonte: Autor, 2021.

Nos locais em que foram identificadas 73 casas com telhado cerâmico, 50 casas com telha de fibrocimento, 6 casas de laje e 4 casas com telhado de zinco. A partir desse levantamento, foi dado início a construção do mapa temático, onde cada casa é representada pela forma do seu telhado e a ela, são atribuídas cores referente a algum tipo de material de telhado. Na figura 31 abaixo, é possível identificar esses parâmetros.

Figura 31 - Mapa temático de tipos de material de telhado.

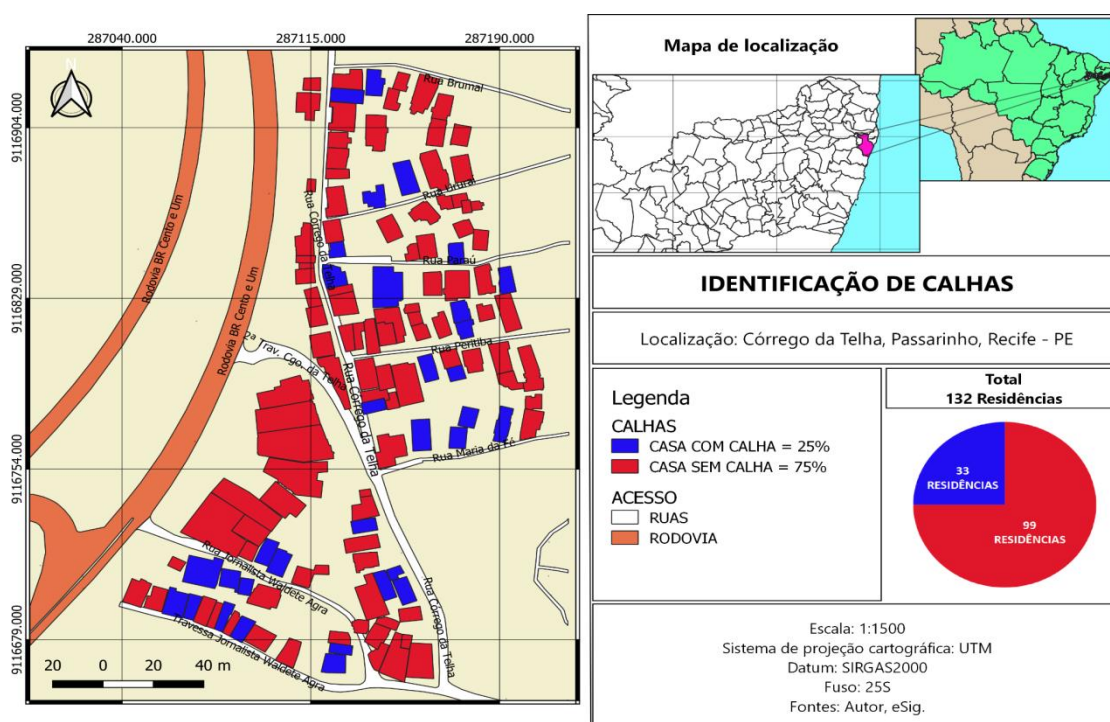


Fonte: Autor, 2021.

6.4.2 Identificação de Calhas

A identificação das calhas, a partir dos métodos descritos anteriormente na metodologia, em que através do Ortomosaico gerado pelo RPA e com o auxílio do Google Street View, foi possível identificar um total de 33 residências com a presença de calha e 66 sem a presença de calhas, isso significa que 25% das casas têm calha e 75% das casas não têm calha. No mapa temático a seguir, figura 32, mostra a distribuição das residências em questão.

Figura 32 - Mapa Temático de identificação de calhas.

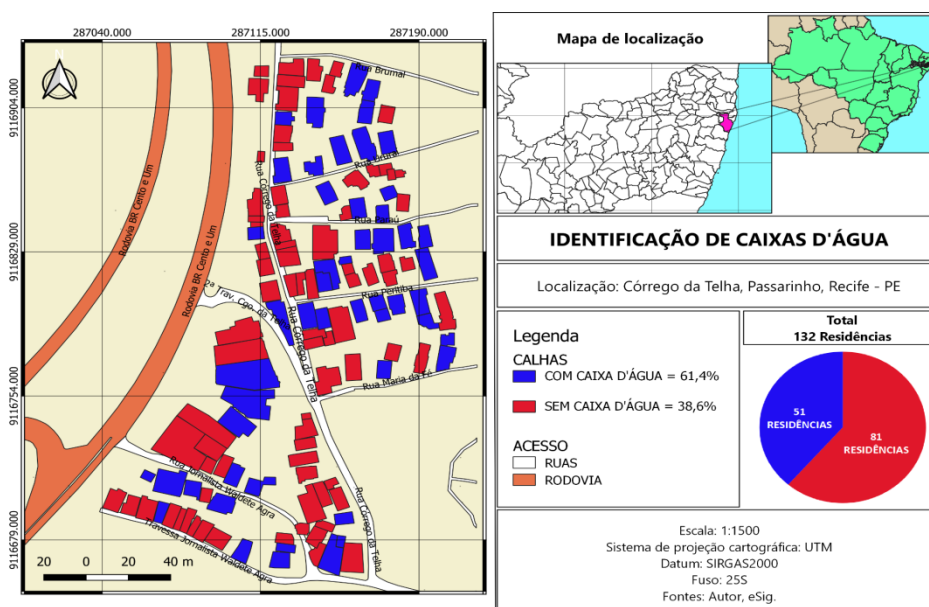


Fonte: Autor, 2021.

6.4.3 Identificação de Caixas D'água

No tocante à identificação das caixas d'água, ela se deu a partir do ortomosaico, onde foi possível identificar e quantificar quantas e quais são as residências que as possuem ou não. Foi identificado que 38,6% das residências não possuem caixa d'água e 61,4% possuem caixa d'água. Na Figura 33 a seguir mostra o mapa temático que identifica quais são as casas que possuem caixa d'água.

Figura 33 - Mapa Temático de identificação de caixa d'água.

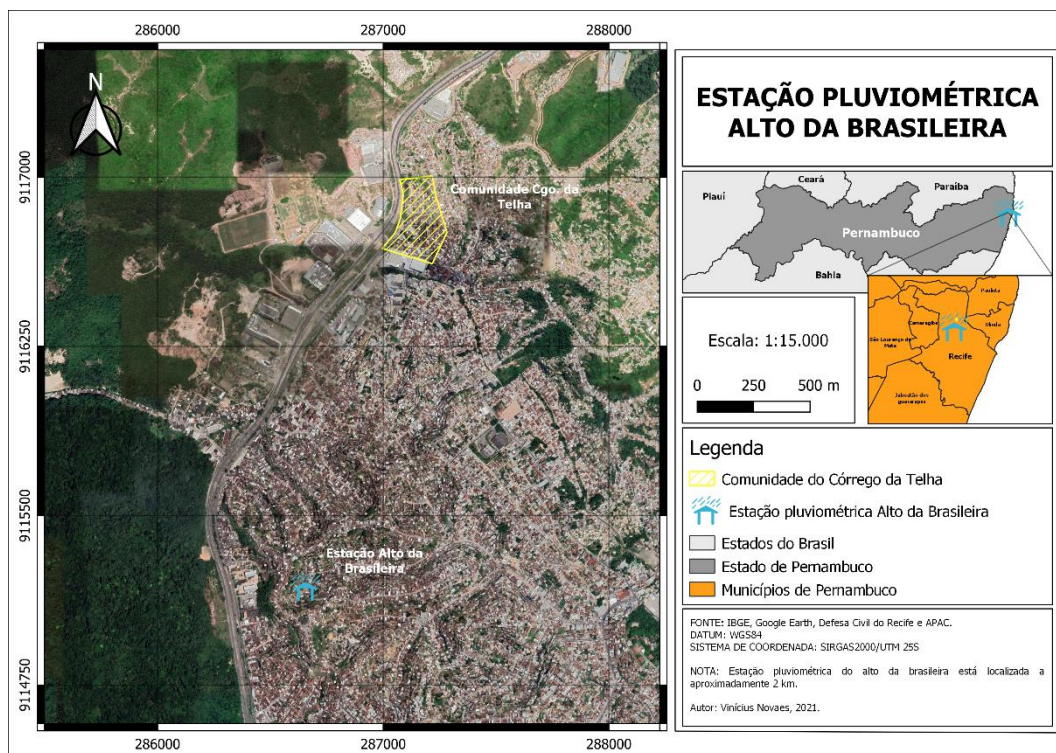


Fonte: Autor, 2021.

6.5 Comparação dos dados pluviométricos e Levantamento

Atualmente, a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) tem 25 equipamentos fazendo este registro na Região Metropolitana do Recife (RMR). De modo que os equipamentos convencionais a leitura é feita diretamente no equipamento uma vez por dia, e os automáticos fazem medida a cada 10 minutos, sendo disponibilizada a cada hora (APAC, adaptado, 2021). A estação mais próxima à área de estudo é a estação pluviométrica Alto da Brasileira, localizada a aproximadamente 2km de distância, na qual foi escolhida para o estudo em questão. A figura 34 abaixo mostra a localização da estação pluviométrica em relação a comunidade do córrego da telha.

Figura 34- Localização da estação pluviométrica alto da brasileira.



Fonte: Autor, 2021.

A partir das informações das vetorizações dos telhados das residências, é possível obter o valor médio da área dos mesmos e com isso quantificar o volume de água a ser captado. Na parte de monitoramento no site da APAC, é possível extrair uma planilha com informações referentes à visualização mensal dos dados, intervalo temporal e estação pluviométrica desejada. A seguir na tabela 7 a demonstração da planilha de resultados gerada pela APAC.

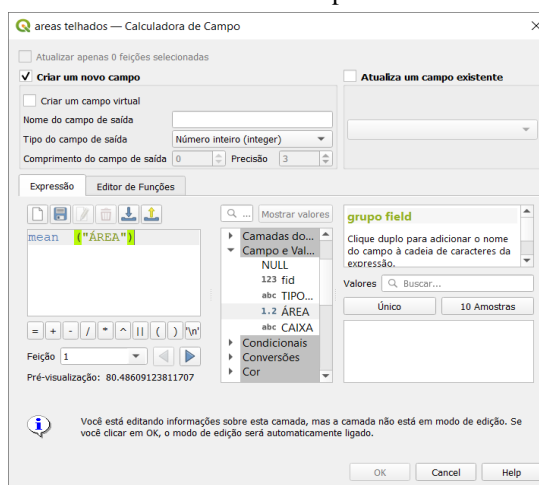
Tabela 7 - Planilha de resultados APAC em milímetros (mm).

Codigo	Posto	Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
265	Recife(alto da Brasileira)	2011	-	-	-	-	-	-	-	30,2	31,7	24,4	93,6	16,8
265	Recife(alto da Brasileira)	2012	216,3	110,5	87,9	57,9	103,1	349,1	311,7	157	9	39,4	10,4	29,4
265	Recife(alto da Brasileira)	2013	124	35,1	65	4,5	202,5	400,5	476,9	196,4	161,3	56	67,3	158,4
265	Recife(alto da Brasileira)	2014	161,5	99,7	130,6	210,1	282,4	310,2	185,2	149,5	339,1	145,5	55,8	74,1
265	Recife(alto da Brasileira)	2015	50	53,8	274,6	41,2	217	391,7	488,2	68,7	45	20,7	9,8	45,2
265	Recife(alto da Brasileira)	2016	85,9	10,3	113,5	314,6	364,8	140,8	115,3	64,3	42,3	11,2	8,3	27,6
265	Recife(alto da Brasileira)	2017	12,9	25	121,3	222	252,4	339,6	357,4	100,2	63,3	54,3	10,2	31,8
265	Recife(alto da Brasileira)	2018	112,9	126,1	154,7	483,7	132,4	114,7	97,3	62	38,1	5,1	46,5	33,6
265	Recife(alto da Brasileira)	2019	75,9	41,9	107	214,3	197,1	405,4	484,5	149,3	85,7	58,6	4,7	19,7
265	Recife(alto da Brasileira)	2020	31,8	70,1	118,6	251,8	99,4	277,4	213,2	56,2	36,5	24,4	31,9	23
265	Recife(alto da Brasileira)	2021	57,5	27	234,1	324,7	429,3	185,8	223	164,9	-	-	-	-

Fonte: APAC, 2021.

Para efeito de cálculo, serão utilizados os anos de 2012 a 2020, pois, os mesmos se encontram com todos os valores completos. Com isso, fez-se a média aritmética para esses anos e o valor médio anual ficou em torno de 135,69mm de chuva. Para poder fazer uma estimativa de quanto de água poderia ser captada para cada residência, é necessário ter a dimensão média dos telhados das residências da comunidade e para isso, foi utilizado a tabela de atributos criada com as informações das residências, usando a ferramenta *calculadora de campo*, que se pode inserir a fórmula de média aritmética em relação às áreas de cada telhado, como mostrado na figura 37 abaixo.

Figura 35 - Cálculo da média dos telhados pela calculadora de campo QGIS.



Fonte: Autor, 2021.

O valor médio dos telhados ficou em 80,49m², contudo, é importante salientar que na comunidade do Córrego da Telha existem alguns galpões, onde o valor da área do telhado é substancialmente maior do que o restante das residências da comunidade e por isso aumentam a média das áreas dos telhados. A partir da equação 1, que trata do potencial de reservação da água de chuva, é possível fazer o dimensionamento com os dados levantados das áreas dos telhados e qual o seu tipo de material. A tabela 8 mostra os valores médios de reservação de água da chuva para cada tipo de material de telhado.

Tabela 8 - Potencial de reservação de água da chuva em L/Ano por material de telhado

MATERIAL	POTENCIAL MÉDIO (L/ANO)
CERÂMICA	8779,83
FIBROCIMENTO	9655,6
LAJE	8915,15
METÁLICO	10106,87

Fonte: Autor, 2021.

7 CONCLUSÃO

A partir do levantamento e processamento dos dados obtidos em campo, nos quais foram utilizados os modelos digitais de superfície e de terreno, ortomosaico e a classificação de imagens digitais. Foi possível avaliar os parâmetros referentes a quantidade de residências existentes no local, dimensionar a área aproveitável dos telhados, identificar a presença de calha e caixas d'água nas residências, classificar de forma supervisionada os telhados residenciais de acordo com o seu tipo de material e estimar potencial de reservação da água da chuva.

Foi possível constatar que houve uma excelente classificação de imagens, para fins de detecção de materiais de telhados, a partir de um produto gerado através de um veículo aéreo remotamente tripulado utilizando câmera de sensor RGB, onde em comparação com o levantamento através da fotointerpretação, a classificação semiautomática se torna muito mais rápida e conseqüentemente menos custosa economicamente. Vale ressaltar que para áreas que ficam próximas a rodovias há uma pequena confusão espectral entre o telhado de fibrocimento e o asfalto.

A fotointerpretação permitiu identificar a quantidade de residências existentes na comunidade, tipos de materiais de telhado, identificação de caixas d'água e um fator de grande importância no levantamento, realizar a identificação das calhas para cada residência, a partir da alta resolução espacial embarcada no RPA, onde foi possível obter uma resolução de aproximadamente 3 cm. Mesmo sendo um trabalho manual, os resultados gerados a partir do levantamento são de extrema importância para projetos futuros e tomadas de decisões. Foram identificadas 132 residências inseridas na comunidade do Córrego da Telha, onde 25% das residências possuem calha e 75% não possuem.

Nesse contexto, utilizando o valor médio anual de precipitação, em oito anos que é 135,69 mm, e multiplicando pela área telhado residencial aproveitável que é de 10.624,16 m², temos 1.136.275,59 m³ de água da chuva, possíveis de captação. Evitando que essa água seja escoada superficialmente, se infiltre nas barreiras e sobrecarregue os sistemas de drenagem e conseqüentemente coloque várias famílias em risco. E em contrapartida, esta quantidade de água seria suficiente para atender a demanda interna de uma casa, como exemplo: lavar roupa, lavar louça, limpar a casa, regar plantas e entre outros. Melhorando assim o abastecimento de água que é um problema sério das áreas de morros do Recife.

A partir desse estudo, é notável a presença do mesmo nos objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), de acordo

com as ODS's 2, 3, 9, 11, 12, 13, 15 e 17. Vale ressaltar a importância da fotogrametria para a aquisição dos dados do levantamento sabendo-se que ela acelera a aquisição dos dados do estudo e diminui os custos, como: poucas pessoas no campo para a aquisição dos dados, tira a necessidade de pessoas irem em locais de difícil acesso e o trabalho de levantamento é feito em algumas horas, isto é, a perspectiva é que esses sistemas sejam replicados para outras localidades e que beneficie o máximo de pessoas possível.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527, **Água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis**, Rio de Janeiro, 2007.
- AMISSE, C.; MACHADO, A. M. L.; CENTENO, J. A.
S.ExtractionofGeometricalInformationused in Photovoltaicand Rainwater HarvestingPotentialEstimationfrom UAV OpticalImages. Revista Brasileira de Energia | Vol. 25, Nº 3, 2º Semestre de 2019.
- ALMEIDA, D. C. **Aproveitamento de Águas Pluviais em Instituição de Ensino Federal**. Tese (Mestrado Profissional em Gestão do Desenvolvimento Local Sustentável) - Faculdade de Ciências da Administração de Pernambuco, Universidade de Pernambuco. Recife, p. 97, 2016.
- AMARANTE, R. T., SALIM, D. H. C., ARAÚJO, P. H. F., FONSECA, B. M., JESUS, J. R. **P. Proposta de Mapeamento do Potencial de Radiação solar em Edificações com Uso de Drone**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 5, n. 11, p. 24537-24550 nov. 2019 ISSN 2525-8761.
- BARBIER M.; CHANTHERY, E., **AutonomousMission Management for UnmannedAerialVehicles**. Aerospace Science and Technology, v. 8, p. 359 - 368, 2004.
- BENDER, Livia Vasques et al. **Estudo da paridade econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil**. Ambient. constr. Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 489-508, dez. 2020.
 Availablefromhttp://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S167886212020000400489&lng=en&nrm=iso Acesso em 29 Mar. 2021. EpubOct 05, 2020.
- CAMPOS, Mayara Soares; ALCANTARA, LiciniusD.S.. **Interpretação dos Efeitos de Tempo Nublado e Chuvoso Sobre a Radiação Solar em Belém/PA Para Uso em Sistemas Fotovoltaicos**. Rev. bras. meteorol., São Paulo , v. 31, n. 4, supl. 1, p. 570-579, Dec.2016.

CROMMELINCK, S. BENNETT, R. GERK, M., NEX, F., YANG, M.Y., & VOSSelman, G. (2016). **Review of automatic feature extraction from high-resolution optical sensor data for UAV-based cadastral mapping**. In *Remote Sensing* (Vol. 8, Issue 8).

EROKSUZ, E.; RAHMAN, A. **Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities**. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, n. 12, p. 1449–1452, 2010.

FARRENY, R.; MORALES-PINZÓN, T.; GUIASOLA, A.; TAYÀ, C.; RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X. (2011) **Roof selection for rainwater harvesting: quantity and quality assessments in Spain**. *Water Research*, v. 45, n. 10, p. 3245–3254.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. *Estudos Avançados*, v. 21, p. 7–20, 2007.

FARRENY, R. et al. **Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain**. *Water Research*, v. 45, n. 10, p. 3245–3254, acesso em: 01 mai. 2011.

HOLANDA, Marco Aurelio Calixto Ribeiro de; SOARES, Willames de Albuquerque. **Analysis of the effect of impermeability of urban soils on the infiltration of rainwater in the city of Recife, PE**. *Rev. Ambient. Água*, Taubaté, v. 14, n. 4, e 2386, 2019. Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2019000400312&lng=en&nrm=iso . Acesso em 19 Mai. 2021. Epub July 22, 2019.

KUNG, O., STRECHA, C., BEYELER, A., ZUFFEREY, J.C., FLOREANO, D., FUA, P., GERVAIX, F. **The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light UAV imagery**. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland, 2011.

LANCASTER, B., 2006. **Guiding principles to welcome rain into your life and landscape**. In: **Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond**, vol. 1. Resource Press, Tucson, Arizona.

LIAW, C.H., TSAI, Y.L., 2004. **Optimum storage volume of rooftop rainwater harvesting systems for domestic use**. *Journal of the American Water Resources Association* 40, 901e912.

MORCELI, Bruno de Moura; POZ, Aluir Porfírio **Dal. Dal, Modelos digitais de superfície reamostrados a partir de dados de varredura a laser**. *Anais XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, São Paulo, 2019.

PIX4D. **Pix4d mapper Software Manual Pix4D Support**. Lausanne, Suíça: Pix4D SA. 2013b. Disponível em: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf>

PÔJO, B. C. D. C.; JÚNIOR, M. B. S.; MENDES, R. L. R. **Volume aproveitável de água da chuva: um estudo sobre as capitais brasileiras**. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 29005–29028, 2020.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. Editora UFV. 2ª Ed. 87 2004.

QGIS Development Team, <YEAR>. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project**. <http://qgis.osgeo.org>

SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. **Urban water demand management: Prospects and challenges for the developing countries**. *Water and Environment Journal*, v. 23, n. 3, p. 210-218, 2009.

SPRING: **Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. *Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

SOLAR ENERGY INTERNACIONAL, **Solar Electric Handbook: Photovoltaic Fundamentals and Applications**. Custom edition, Pearson Learning Edition, Boston, United States of America. pp. 7-20 (2013).

TAVARES, B. P. C. **Recolha e Análise de Dados para Estudo Local de Potencial Fotovoltaico com Recurso a Drones**. Tese (Mestrado Integrado em Meio Ambiente) –

Faculdade de Ciências, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa. Lisboa, 2019.

VILLARREAL, E.; DIXON, A. (2005) **Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden.** *Building and Environment*, v. 40, n. 9, p. 1174-1184. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.10.018>.

WANDERLEY, L.S.A., NÓBREGA, R.S., MOREIRA, A.B., ANJOS, R.S., ALMEIDA, C.A.P., 2018. **As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos.** *Revista Brasileira de Climatologia*. 22, 149-164.

WIGINTON, L.K., NGUVEN, H.T., PEARCE, J.M., 2010. **Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy.** *Comput. Environ. Urban Syst.* 34, 345–357. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.01.001>.

ZHU, K. et al. **Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China.** *Journal of Arid Environments*, v. 57, n. 4, p. 487–505, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135411001540#bib54>.